I.P. ADAM

FORMULAIRE PRATIQUE

à l'usage des

MÉCANICIENS

et

OUTILLEURS



FORMULAIRE PRATIQUE

à l'usage des

MÉCANICIENS

et

OUTILLEURS

AIDE-MÉMOIRE
POUR TECHNICIENS D'ATELIER

PAR

I.P. ADAM

ÉLÉMENTS DE MATHÉMATIQUES

— UTILISÉS DANS —

LES CALCULS PROFESSIONNELS

QUELQUES FACTEURS USUELS

π (pi) rapport de la circonférence au diamètre

Valeur de $\pi = 3{,}141\,592$.

Valeurs approchées de π (sous forme de fractions) :

1° $\dfrac{13 \times 29}{120} = 3{,}141\,666\ldots$

2° $\dfrac{22}{7} = 3{,}142\,857\ldots$

$\dfrac{1}{\pi} = 0{,}3183$	$\dfrac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}5773$
$\dfrac{\pi}{2} = 1{,}5707$	$\sqrt{2} = 1{,}4142$
$\dfrac{\pi}{3} = 1{,}0472$	$\sqrt{3} = 1{,}7320$
$\dfrac{\pi}{4} = 0{,}7853$	$\dfrac{\sqrt{2}}{2} = 0{,}7071$
$\sqrt{\pi} = 1{,}7724$	$\dfrac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}8660$

TABLE DE NOMBRES PREMIERS (1)

1	13	37	61	89	113	151	181
2	17	41	67	97	127	157	191
3	19	43	71	101	131	163	193
5	23	47	73	103	137	167	197
7	29	53	79	107	139	173	199
11	31	59	83	109	149	179	etc.

(1) Un nombre est dit PREMIER lorsqu'il ne peut être divisé que par lui-même et par l'unité.

NOTIONS PRÉLIMINAIRES USUELLES

I. *Plus grand commun diviseur* (P.G.C.D.) de plusieurs nombres. — C'est le plus grand nombre qui divise chacun d'eux exactement.

— *Méthode* dite des divisions successives, applicable à deux nombres seulement.

EXEMPLE. — Soit à rechercher le P.G.C.D. *des nombres* **225** *et* **65**.

	3	2	6
225	**65**	30	**5**
30	5	0	

Le P.G.C.D. des nombres 225 et 65 est **5**.

II. *Plus petit commun multiple* (P.P.C.M.). — Produit des facteurs premiers communs et non communs affectés chacun de leur plus fort exposant.

EXEMPLE. — *Soit à rechercher le* P.P.C.M. *des nombres 2,5 et 6.* — On *multiplie* ces nombres par 10 pour obtenir des nombres entiers — ensuite on *divise* le P.P.C.M. obtenu par 10.

Décomposition des nombres

25	**5**
5	**5**
1	

60	**2**
30	**2**
15	**3**
5	**5**
1	

$$\text{P.P.C.M.} = 5^2 \times 2^2 \times 3 = 300$$

Le P.P.C.M. des nombres 2,5 et 6 est donc *30*.

III. *Fractions.* — Principe fondamental : une fraction ne change pas de valeur, lorsqu'on multiplie ou lorsqu'on divise ses deux termes (NUMÉRATEUR ET DÉNOMINATEUR) par un même nombre.

Exemple : $\frac{6}{8} = \frac{6 \times 5}{8 \times 5} = \frac{30 : 10}{40 : 10} = \frac{3}{4}$

MÉTHODE DES RÉDUITES. — Théorie arithmétique qui permet d'obtenir une suite de fractions dites « réduites », dont les valeurs se rapprochent de plus en plus de la fraction donnée.

Application : FRAISAGE HÉLICOÏDAL (*page 84*).

IV. Carré et Racine carrée.

Carré d'un nombre. — C'est le produit obtenu en multipliant ce nombre par lui-même.

Racine carrée d'un nombre (symbole $\sqrt{\ }$). — C'est un autre nombre qui, multiplié par lui-même, reproduit le premier.

Exemple : $\sqrt{25} = 5$

TABLE DE RACINES CARRÉES

n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$
1	1,000	36	6,000	71	8,426	106	10,295
2	1,414	37	6,082	72	8,485	107	10,344
3	1,732	38	6,164	73	8,544	108	10,392
4	2,000	39	6,245	74	8,602	109	10,440
5	2,236	40	6,324	75	8,660	110	10,488
6	2,449	41	6,403	76	8,717	111	10,535
7	2,645	42	6,480	77	8,775	112	10,583
8	2,828	43	6,557	78	8,831	113	10,630
9	3,000	44	6,633	79	8,888	114	10,677
10	3,162	45	6,708	80	8,944	115	10,723
11	3,316	46	6,782	81	9,000	116	10,770
12	3,464	47	6,855	82	9,055	117	10,816
13	3,605	48	6,928	83	9,110	118	10,862
14	3,741	49	7,000	84	9,165	119	10,908
15	3,873	50	7,071	85	9,219	120	10,954
16	4,000	51	7,141	86	9,273	121	11,000
17	4,123	52	7,211	87	9,327	122	11,045
18	4,242	53	7,280	88	9,380	123	11,090
19	4,358	54	7,348	89	9,434	124	11,135
20	4,472	55	7,416	90	9,486	125	11,180
21	4,582	56	7,483	91	9,539	126	11,225
22	4,690	57	7,549	92	9,591	127	11,269
23	4,795	58	7,615	93	9,643	128	11,313
24	4,899	59	7,681	94	9,695	129	11,357
25	5,000	60	7,746	95	9,746	130	11,401
26	5,099	61	7,810	96	9,798	131	11,445
27	5,196	62	7,874	97	9,848	132	11,489
28	5,291	63	7,937	98	9,899	133	11,532
29	5,385	64	8,000	99	9,949	134	11,575
30	5,477	65	8,062	100	10,000	135	11,619
31	5,567	66	8,124	101	10,049	136	11,661
32	5,656	67	8,185	102	10,099	137	11,704
33	5,744	68	8,246	103	10,148	138	11,747
34	5,831	69	8,306	104	10,198	139	11,789
35	5,915	70	8,366	105	10,247	140	11,832

TABLE DE RACINES CARRÉES

n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$
141	11,874	186	13,638	231	15,198	276	16,613
142	11,916	187	13,674	232	15,231	277	16,643
143	11,958	188	13,711	233	15,264	278	16,673
144	12,000	189	13,747	234	15,297	279	16,703
145	12,041	**190**	13,784	**235**	15,329	**280**	16,733
146	12,083	191	13,820	236	15,362	281	16,763
147	12,124	192	13,856	237	15,394	282	16,792
148	12,165	193	13,892	238	15,427	283	16,822
149	12,206	194	13,928	239	15,459	284	16,852
150	12,247	**195**	13,964	**240**	15,491	**285**	16,881
151	12,288	196	14,000	241	15,524	286	16,911
152	12,328	197	14,035	242	15,556	287	16,941
153	12,369	198	14,071	243	15,588	288	16,970
154	12,409	199	14,106	244	15,620	289	17,000
155	12,449	**200**	14,142	**245**	15,652	**290**	17,029
156	12,490	201	14,177	246	15,684	291	17,058
157	12,530	202	14,212	247	15,716	292	17,088
158	12,569	203	14,247	248	15.748	293	17,117
159	12,609	204	14,282	249	15,779	294	17,146
160	12,649	**205**	14,317	**250**	15,811	**295**	17,175
161	12,688	206	14,352	251	15,843	296	17,204
162	12,727	207	14,387	252	15,874	297	17,233
163	12,767	208	14,422	253	15,906	298	17,262
164	12,806	209	14,456	254	15,937	299	17,291
165	12,845	**210**	14,491	**255**	15,968	**300**	17,320
166	12,884	211	14,525	256	16,000	301	17,349
167	12,922	212	14,560	257	16,031	302	17,378
168	12,961	213	14,594	258	16,062	303	17,406
169	13,000	214	14,628	259	16,093	304	17,435
170	13,038	**215**	14,662	**260**	16,124	**305**	17,464
171	13,076	216	14,696	261	16,155	306	17,492
172	13,114	217	14,730	262	16,186	307	17,521
173	13,152	218	14,764	263	16,217	308	17,549
174	13,190	219	14,798	264	16,248	309	17,578
175	13,228	**220**	14,832	**265**	16,278	**310**	17,606
176	13,266	221	14,866	266	16,309	311	17,635
177	13,304	222	14,899	267	16,340	312	17,663
178	13,341	223	14,933	268	16,370	313	17,691
179	13,379	224	14,966	269	16,401	314	17,720
180	13,416	**225**	15,000	**270**	16,431	**315**	17,748
181	13,453	226	15,033	271	16,462	316	17,776
182	13,490	227	15,066	272	16,492	317	17,804
183	13,527	228	15,099	273	16,522	318	17,832
184	13,564	229	15,132	274	16,552	319	17,860
185	13,601	**230**	15,165	**275**	16,583	**320**	17,888

TABLE DE RACINES CARRÉES

n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$
321	17,916	356	18,868	391	19,773	426	20,639
322	17,944	357	18,894	392	19,799	427	20,664
323	17,972	358	18,920	393	19,824	428	20,688
324	18,000	359	18,947	394	19,849	429	20,712
325	18,027	**360**	18,973	**395**	19,874	**430**	20,736
326	18,055	361	19,000	396	19,899	431	20,760
327	18,083	362	19,026	397	19,924	432	20,784
328	18,110	363	19,052	398	19,949	433	20,808
329	18,138	364	19,078	399	19,975	434	20,832
330	18,165	**365**	19,105	**400**	20,000	**435**	20,856
331	18,193	366	19,131	401	20,025	436	20,880
332	18,220	367	19,157	402	20,049	437	20,904
333	18,248	368	19,183	403	20,074	438	20,928
334	18,275	369	19,209	404	20,099	439	20,952
335	18,303	**370**	19,235	**405**	20,124	**440**	20,976
336	18,330	371	19,261	406	20,149	441	21,000
337	18,357	372	19,287	407	20,174	442	21,023
338	18,384	373	19,313	408	20,199	443	21,047
339	18,412	374	19,339	409	20,223	444	21,071
340	18,439	**375**	19,364	**410**	20,248	**445**	21,095
341	18,466	376	19,390	411	20,273	446	21,118
342	18,493	377	19,416	412	20,297	447	21,142
343	18,520	378	19,442	413	20,322	448	21,166
344	18,547	379	19,467	414	20,347	449	21,189
345	18,574	**380**	19,493	**415**	20,371	**450**	21,213
346	18,601	381	19,519	416	20,396	451	21,236
347	18,627	382	19,544	417	20,420	452	21,260
348	18,654	383	19,570	418	20,445	453	21,283
349	18,681	384	19,595	419	20,469	454	21,307
350	18,708	**385**	19,621	**420**	20,493	**455**	21,330
351	18,735	386	19,646	421	20,518	456	21,354
352	18,761	387	19,672	422	20,542	457	21,377
353	18,788	388	19,697	423	20,567	458	21,400
354	18,814	389	19,723	424	20,591	459	21,424
355	16,841	**390**	19,748	**425**	20,615	**460**	21,447

RACINES CARRÉES ET NOMBRES DÉCIMAUX

n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$	n	$\sqrt{n}$
0,01	0,100	**0,06**	0,245	**0,2**	0,447	**0,6**	0,775
0,02	0,141	**0,07**	0,265	**0,25**	0,500	**0,7**	0,837
0,03	0,173	**0,08**	0,283	**0,3**	0,548	**0,75**	0,867
0,04	0,200	**0,09**	0,300	**0,4**	0,632	**0,8**	0,894
0,05	0,224	**0,10**	0,316	**0,5**	0,707	**0,9**	0,949

Longueur L de la circonférence (*Périmètre du cercle*). — Produit du nombre π par le diamètre D ou par le double du rayon R, soit :

$$L = \pi D = 2 \pi R$$

Longueur l du quart de circonférence. — Dans la pratique, on emploie couramment la formule suivante :

$$l = \frac{2 \pi R}{4} = R \times 1{,}57$$

— RELATIONS —
ENTRE LES ÉLÉMENTS D'UNE CIRCONFÉRENCE

D, diamètre
c, corde
f, flèche

l, longueur de l'arc
α, angle au centre

FORMULES GÉNÉRALES

$$D = \frac{c^2}{4f} + f; \quad D = \frac{360° \times l}{\pi \times \alpha}$$

$$c = 2\sqrt{f(D - f)}; \quad f = \frac{D - \sqrt{D^2 - c^2}}{2}$$

$$l = \frac{\pi D \times \alpha}{360°} \text{ d'où } \alpha = \frac{360° \times l}{\pi D}$$

Cercle : Surface limitée par la circonférence. — *La surface S d'un cercle s'obtient, en multipliant le carré du rayon R par* π :

$$S = \frac{2 \pi R \times R}{2} = \pi R^2$$

Connaissant le diamètre D, on a aussi :

$$S = \frac{\pi D^2}{4} = 0{,}7854 \times D^2.$$

Arc de cercle. — Portion de circonférence. La longueur l d'un arc de n degrés est égale à :

$$l = \frac{2 \pi R \times n}{360°} = \frac{\pi R n}{180°}$$

ARC DE CERCLE (suite). — *Exemple :* Calcul du nombre n de degrés d'un arc de cercle, connaissant sa longueur l et le rayon R.

$$\textit{Formule : } n^\circ = \frac{360^\circ \times l}{2\pi R} = \frac{180^\circ \times l}{\pi R}$$

UNITÉ D'ARC : le *radian* (rd). — Parfois utilisé en mécanique, le radian est l'arc de cercle dont la longueur est égale au rayon; la mesure du cercle entier est 2π (ou 3.1416×2) radians.

La valeur du radian est donnée en n degrés par la formule :

$$n = 180^\circ \times 0{,}3183 = 57^\circ\ 17'\ 45''$$

Division en degrés. — Une circonférence divisée en 360 parties égales est partagée en 4 arcs égaux par deux diamètres perpendiculaires, chacun de ces arcs est un *quadrant* qui correspond à *l'angle droit.*

L'angle droit est généralement choisi pour *unité d'angle.* On le représente par le symbole D.

Les sous-multiples de l'angle droit sont :

- le *degré* (°) qui vaut 1/90 d'angle droit;
- la *minute* (′) — 1/60 de degré;
- la *seconde* (″) — 1/60 de minute.

NOTA. — La mesure d'un arc en degrés, minutes et secondes est la même que celle de l'angle au centre correspondant.

Division en grades. — Le grade est la 1/400 partie de la circonférence, donc *1 grade* est égal à 54′.

Cette division du cercle est peu usitée en construction mécanique.

ANGLES DIVERS. — *Quelques notes*

ANGLE au centre. — Angle qui a son sommet au centre d'un cercle.

ANGLES complémentaires. — Deux angles sont complémentaires lorsque leur somme est égale à 90°.

ANGLES supplémentaires. — Deux angles sont supplémentaires lorsque leur somme est égale à 180°.

Bissectrice d'un angle. — Droite partageant cet angle en deux parties égales.

TABLE DES ARCS, CORDES ET FLÈCHES
pour les angles de 1 à 180° (*Le rayon = 1*)

Déterminer la longueur l d'un arc de 45° dont le rayon = 160 mm.

En consultant la table ci-après, on lit en regard de 45°, le nombre 0,7854 que l'on multiplie par le rayon :

$$l = 0{,}7854 \times 160 = 125{,}66 \text{ mm}$$

Opérer suivant même principe pour *corde* et *flèche*.

DEGRÉS	ARCS	CORDES	FLÈCHES	DEGRÉS	ARCS	CORDES	FLÈCHES
1	0,0175	0,0175	0,0000	31	0,5411	0,5345	0,0363
2	0,0349	0,0349	0,0001	32	0,5585	0,5512	0,0387
3	0,0524	0,0524	0,0003	33	0,5760	0,5680	0,0411
4	0,0698	0,0698	0,0006	34	0,5934	0,5847	0,0437
5	0,0873	0,0872	0,0009	35	0,6109	0,6014	0,0462
6	0,1047	0,1047	0,0013	36	0,6283	0,6180	0,0489
7	0,1222	0,1221	0,0018	37	0,6458	0,6346	0,0516
8	0,1396	0,1395	0,0024	38	0,6632	0,6511	0,0544
9	0,1571	0,1569	0,0030	39	0,6807	0,6676	0,0573
10	0,1745	0,1743	0,0038	40	0,6981	0,6840	0,0603
11	0,1920	0,1917	0,0046	41	0,7156	0,7004	0,0633
12	0,2094	0,2091	0,0054	42	0,7330	0.7167	0,0664
13	0,2269	0,2264	0,0064	43	0,7505	0,7330	0,0695
14	0,2443	0,2437	0,0074	44	0,7679	0,7492	0,0728
15	0,2618	0,2611	0,0085	45	0,7854	0,7654	0,0761
16	0,2793	0,2783	0,0087	46	0,8029	0,7815	0,0795
17	0,2967	0,2956	0,0109	47	0,8203	0,7975	0,0829
18	0,3142	0,3129	0,0123	48	0,8378	0,8135	0,0865
19	0,3316	0,3301	0,0137	49	0,8552	0,8294	0,0900
20	0,3491	0,3472	0,0151	50	0,8727	0,8452	0,0937
21	0,3665	0,3645	0,0167	51	0,8901	0,8610	0,0974
22	0,3840	0,3816	0,0183	52	0,9076	0,8767	0,1012
23	0,4014	0,3987	0,0200	53	0,9250	0,8924	0,1051
24	0,4189	0,4158	0,0218	54	0,9425	0,9080	0,1090
25	0,4363	0,4329	0,0237	55	0,9599	0,9235	0,1130
26	0,4538	0,4499	0,0256	56	0,9774	0,9389	0,1171
27	0,4712	0,4669	0,0276	57	0,9948	0,9543	0,1212
28	0,4887	0,4838	0,0296	58	1,0123	0,9696	0,1254
29	0,5061	0,5008	0,0318	59	1,0297	0,9848	0,1296
30	0,5236	0,5176	0,0340	60	1,0472	1,0000	0,1340

ARCS, CORDES ET FLÈCHES (suite)

DEGRÉS	ARCS	CORDES	FLÈCHES	DEGRÉS	ARCS	CORDES	FLÈCHES
61	1,0647	1,0151	0,1384	101	1,7628	1,5432	0,3639
62	1,0821	1,0301	0,1428	102	1,7802	1,5543	0,3707
63	1,0996	1,0450	0,1474	103	1,7977	1,5652	0,3775
64	1,1170	1,0598	0,1520	104	1,8151	1,5760	0,3843
65	1,1345	1,0746	0,1566	105	1,8326	1,5867	0,3912
66	1,1519	1,0893	0,1613	106	1,8500	1,5973	0,3982
67	1,1694	1,1039	0,1661	107	1,8675	1,6077	0,4052
68	1,1868	1,1184	0,1710	108	1,8850	1,6180	0,4122
69	1,2043	1,1328	0,1759	109	1,9024	1,6282	0,4193
70	1,2217	1,1472	0,1808	110	1,9199	1,6383	0,4264
71	1,2392	1,1614	0,1859	111	1,9373	1,6483	0,4336
72	1,2566	1,1756	0,1910	112	1,9548	1,6581	0,4408
73	1,2741	1,1896	0,1961	113	1,9722	1,6678	0,4481
74	1,2915	1,2036	0,2014	114	1,9897	1,6773	0,4554
75	1,3090	1,2175	0,2066	115	2,0071	1,6868	0,4627
76	1,3265	1,2313	0,2120	116	2,0246	1,6961	0,4701
77	1,3439	1,2450	0,2174	117	2,0420	1,7053	0,4775
78	1,3614	1,2586	0,2229	118	2,0595	1,7143	0,4850
79	1,3788	1,2722	0,2284	119	2,0769	1,7233	0,4925
80	1,3963	1,2856	0,2340	120	2,0944	1,7321	0,5000
81	1,4137	1,2989	0,2396	121	2,1118	1,7407	0,5076
82	1,4312	1,3121	0,2453	122	2,1293	1,7492	0,5152
83	1,4486	1,3252	0,2510	123	2,1468	1,7576	0,5228
84	1,4661	1,3383	0,2569	124	2,1642	1,7659	0,5305
85	1,4835	1,3512	0,2627	125	2,1817	1,7740	0,5388
86	1,5010	1,3640	0,2686	126	2,1991	1,7820	0,5460
87	1,5184	1,3767	0,2746	127	2,2166	1,7899	0,5538
88	1,5359	1,3893	0,2807	128	2,2340	1,7976	0,5616
89	1,5533	1,4018	0,2867	129	2,2515	1,8052	0,5695
90	1,5708	1,4142	0,2929	130	2,2689	1,8126	0,5774
91	1,5882	1,4265	0,2991	131	2,2864	1,8199	0,5853
92	1,6057	1,4387	0,3053	132	2,3038	1,8271	0,5933
93	1,6232	1,4507	0,3116	133	2,3213	1,8341	0,6013
94	1,6406	1,4627	0,3180	134	2,3387	1,8410	0,6093
95	1,6580	1,4746	0,3244	135	2,3562	1,8478	0,6173
96	1,6755	1,4863	0,3309	136	2,3736	1,8544	0,6254
97	1,6930	1,4979	0,3374	137	2,3911	1,8608	0,6335
98	1,7104	1,5094	0,3439	138	2,4086	1,8672	0,6446
99	1,7279	1,5208	0,3506	139	2,4260	1,8733	0,6498
100	1,7453	1,5321	0,3572	140	2,4435	1,8794	0,6580

DEGRÉS	ARCS	CORDES	FLÈCHES	DEGRÉS	ARCS	CORDES	FLÈCHES
141	2,4609	1,8853	0,6662	161	2,8100	1,9726	0,8350
142	2,4784	1,8910	0,6744	162	2,8274	1,9754	0,8436
143	2,4958	1,8966	0,6827	163	2,8449	1,9780	0,8522
144	2,5133	1,9021	0,6910	164	2,8623	1,9805	0,8608
145	2,5307	1,9074	0,6993	165	2,8798	1,9829	0,8695
146	2,5482	1,9126	0,7076	166	2,8972	1,9851	0,8781
147	2,5656	1,9176	0,7160	167	2,9147	1,9871	0,8868
148	2,5831	1,9225	0,7244	168	2,9322	1,9890	0,8955
149	2,6005	1,9273	0,7328	169	2,9496	1,9908	0,9042
150	2,6180	1,9319	0,7412	170	2,9671	1,9924	0,9128
151	2,6354	1,9363	0,7496	171	2,9845	1,9938	0,9215
152	2,6529	1,9406	0,7581	172	3,0020	1,9951	0,9302
153	2,6704	1,9447	0,7666	173	3,0194	1,9963	0,9390
154	2,6878	1,9487	0,7750	174	3,0369	1,9973	0,9447
155	2,7053	1,9526	0,7836	175	3,0543	1,9981	0,9564
156	2,7227	1,9563	0,7921	176	3,0718	1,9988	0,9651
157	2,7402	1,9598	0,8006	177	3,0892	1,9993	0,9738
158	2,7576	1,9632	0,8092	178	3,1067	1,9997	0,9825
159	2,7751	1,9665	0,8179	179	3,1241	1,9999	0,9913
160	2,7925	1,9696	0,8264	180	3,1416	2,0000	1,0000

DÉTERMINATION d'une longueur d'arc

exprimée en *degrés* et *minutes* (R = 1)

Minutes	Arcs	Minutes	Arcs	Minutes	Arcs
1′	0,00029	6′	0,00174	20′	0,00581
2′	0,00058	7′	0,00203	30′	0,00872
3′	0,00087	8′	0,00232	40′	0,01163
4′	0,00116	9′	0,00261	50′	0,01454
5′	0,00145	10′	0,00290		

Exemple. — Soit à trouver la longueur d'un arc de **41°36′**. — Les tables ci-dessus donnent :

arc 41° = 0,7156
arc 30′ = 0,0087
arc 6′ = 0,0017

arc **41° 36′ = 0,7260**

TRACÉS PRATIQUES D'UN ANGLE

1ᵉʳ PROCÉDÉ. — Soit à tracer l'angle de 48° (*fig.* 1). On prend un rayon arbitraire OA de 80 mm par exemple et on trace un arc de cercle.

La **corde** qui correspond à 48° (*voir table page ci-contre*) est égale à : AB = 80 × 0,8135 = 65,08 mm.

En joignant ensuite le point O au point B, on obtient l'angle AOB = 48°.

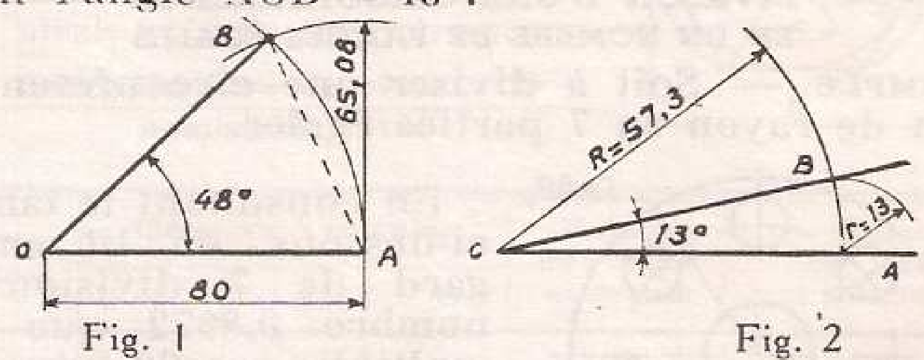


Fig. 1 Fig. 2

2° PROCÉDÉ (*angles inférieurs à 20°*). — La longueur de la circonférence dont le rayon R = 57,3 mm est de 360 mm; chaque millimètre mesuré sur l'arc correspond donc à un angle au centre de 1 degré.

EXEMPLE : Soit à construire un angle de 13° (*fig.* 2). — Sur l'arc dont le rayon OA = 57,3 mm, on mesure, à l'aide d'un *réglet souple*, une longueur AB = 13 mm.

L'angle A O B = 13°

TRACÉS DIVERS

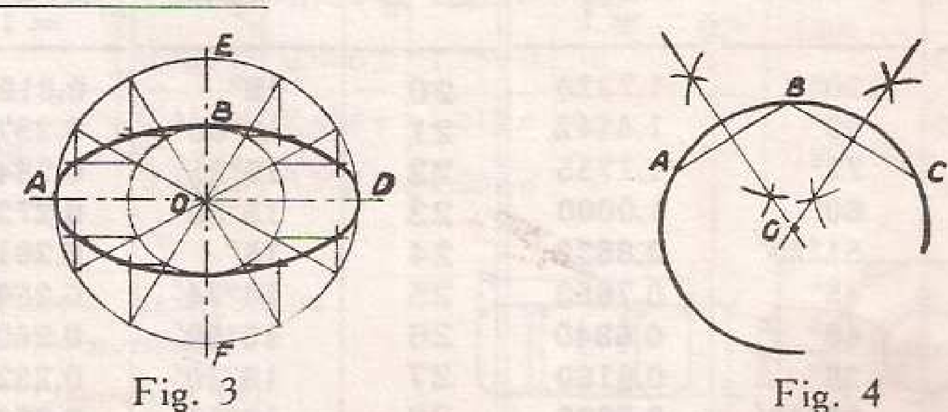


Fig. 3 Fig. 4

I. Tracé de l'ellipse par points, à l'aide de deux circonférences (*fig.* 3).

a) **Du même centre O, avec OA et OB pour rayons, tracer deux circonférences;**

b) **Diviser la grande circonférence en un certain nombre de parties égales par des rayons;**

c) **Par ces points de division, tracer des parallèles à EF;**

d) **Par les points d'intersection des rayons avec la petite**

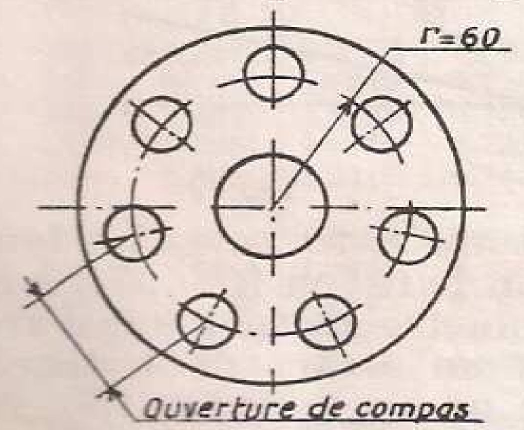
circonférence, tracer des parallèles à AD;

e) Joindre les points d'intersection de ces parallèles par une courbe régulière.

II. Le *tracé* représenté (*fig.* 4) permet de trouver le *centre* d'une circonférence ou d'un arc de cercle.

— DIVISION D'UNE CIRCONFÉRENCE — EN UN NOMBRE DE PARTIES ÉGALES

Exemple. — Soit à diviser une circonférence de 60 mm de rayon en 7 parties égales.



En consultant le tableau ci-dessous, on lit en regard de 7 divisions le nombre 0,8672 que l'on multiplie par 60 (*rayon de la circonférence à diviser*).

Ouverture de compas : $= 60 \times 0,8672 = 52,03$ mm.

Nombre de divisions	Angle au centre correspondant	Longueur de la corde correspondant au rayon = 1	Nombre de divisions	Angle au centre correspondant	Longueur de la corde correspondant au rayon = 1
3	120°	1,7320	20	18°	0,3128
4	90°	1,4142	21	17°08′	0,2979
5	72°	1,1755	22	16°21′	0,2845
6	60°	1,0000	23	15°39′	0,2722
7	51°25′	0,8672	24	15°	0,2610
8	45°	0,7653	25	14°24′	0,2506
9	40°	0,6840	26	13°50′	0,2408
10	36°	0,6180	27	13°20′	0,2321
11	32°43′	0,5632	28	12°51′	0,2239
12	30°	0,5176	29	12°24′	0,2160
13	27°41′	0,4784	30	12°	0,2090
14	25°42′	0,4448	31	11°36′	0,2021
15	24°	0,4158	32	11°15′	0,1960
16	22°30′	0,3901	33	10°54′	0,1899
17	21°10′	0,3675	34	10°35′	0,1845
18	20°	0,3473	35	10°17′	0,1792
19	18°56′	0,3289	36	10°	0,1743

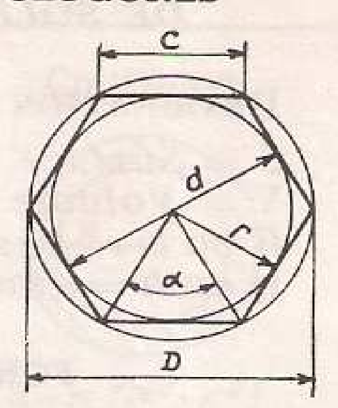
RELATIONS NUMÉRIQUES

ENTRE LES PRINCIPAUX POLYGONES

d, cercle inscrit;
D, cercle circonscrit;
c, côté du polygone;
n, nombre de côtés;
α, angle au centre;

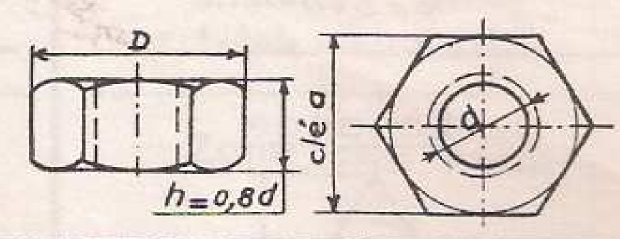
Angle intérieur d'un polygone :

$$\frac{180° \times (\text{nombre de côtés} - 2)}{\text{nombre de côtés}}$$



Polygones réguliers	Eléments à calculer			Valeur de l'angle extérieur	Valeur de l'angle intérieur
	c	d	D		
Triangle équilatéral	1,732 *d*	0,577 *c*	1,155 *c*	$\frac{360°}{3} = 120°$	$180° - \frac{360°}{3} = 60°$
	0,866 D	0,500 D	2,000 *d*		
Carré.....	1,000 *d*	1,000 *c*	1,414 *c*	$\frac{360°}{4} = 90°$	$180° - \frac{360°}{4} = 90°$
	0,707 D	0,707 D	1,414 *d*		
Pentag....	0,726 *d*	1,376 *c*	1,702 *c*	$\frac{360°}{5} = 72°$	$180° - \frac{360°}{5} = 108°$
	0,588 D	0,808 D	1,236 *d*		
Hexag.....	0,577 *d*	1,732 *c*	2,000 *c*	$\frac{360°}{6} = 60°$	$180° - \frac{360°}{6} = 120°$
	0,500 D	0,866 D	1,155 *d*		
Octog.....	0,414 *d*	2,414 *c*	2,613 *c*	$\frac{360°}{8} = 45°$	$180° - \frac{360°}{8} = 135°$
	0,382 D	0,923 D	1,082 *d*		

Ecrous hexagonaux
normaux
(*symbole* **H**)



d mm	*a* mm	*h* mm	D mm	*d* mm	*a* mm	*h* mm	D mm
5	**8**	**4**	**9,2**	14	**22**	**11**	**25,4**
6	**10**	**5**	**11,5**	16	**24**	**13**	**27,7**
8	**13**	**6,5**	**15**	18	**27**	**15**	**31,2**
10	**17**	**8**	**19,6**	20	**30**	**16**	**34,6**
12	**19**	**10**	**21,9**	22	**32**	**18**	**36,9**

— SURFACES ET VOLUMES —

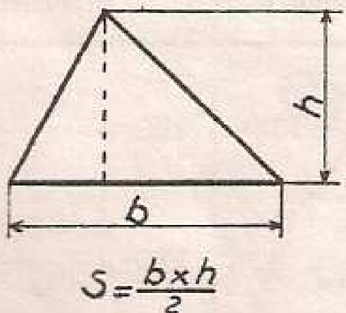
DE SOLIDES GÉOMÉTRIQUES

DÉSIGNATION ABRÉVIATIVE DES TERMES :

S = *Surface*	C = *Côté*
V = *Volume*	D ou *d* = *Diamètre*
B ou *b* = *Base*	R ou *r* = *Rayon*
H ou *h* = *Hauteur*	π = 3,1416

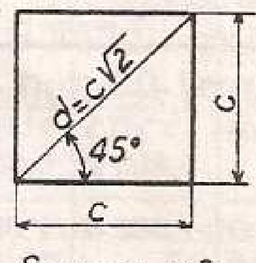
— FORMULES DE CALCUL —

Triangle



$S = \frac{b \times h}{2}$

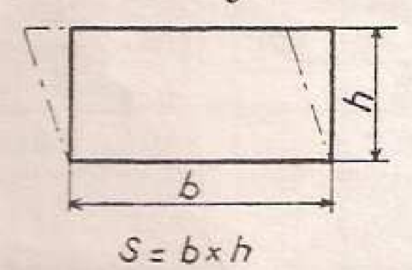
Carré



$S = c \times c = c^2$

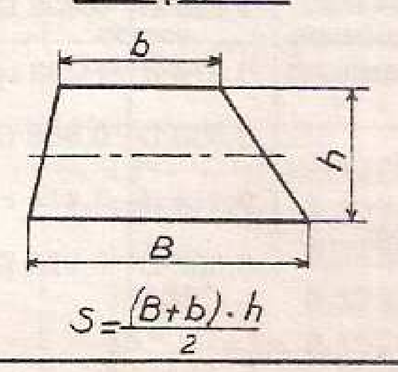
Rectangle

Parallélogramme



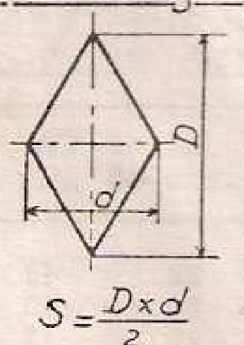
$S = b \times h$

Trapèze



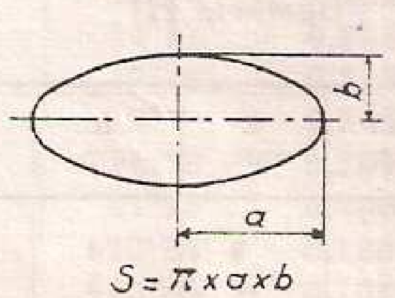
$S = \frac{(B+b) \cdot h}{2}$

Losange



$S = \frac{D \times d}{2}$

Ellipse

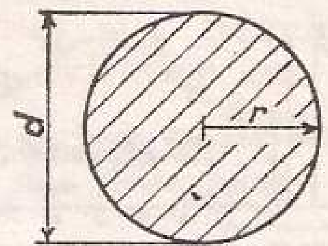


$S = \pi \times a \times b$

SOLIDES GÉOMÉTRIQUES (suite)

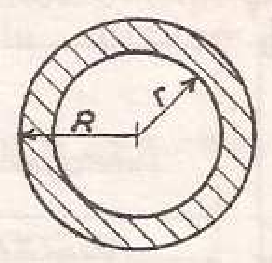
— SURFACES ET VOLUMES —

Cercle



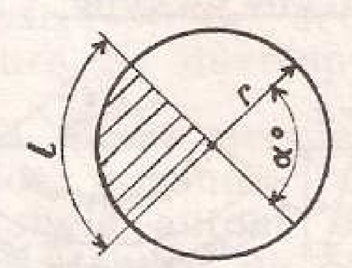
$S = \pi r^2$ ou $\frac{\pi d^2}{4}$

Couronne



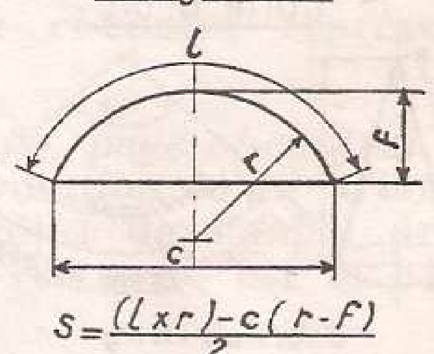
$S = \pi (R^2 - r^2)$

Secteur



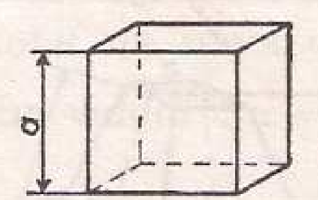
$S = \frac{\pi r^2 \alpha°}{360°}$ ou $\frac{l \times r}{2}$

Segment



$S = \frac{(l \times r) - c(r - f)}{2}$

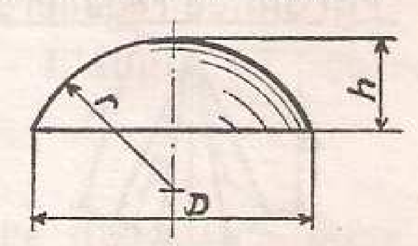
Cube



S. latérale = $4a^2$

$V = a^3$

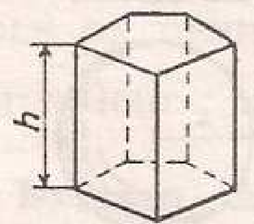
Calotte sphérique



S. latérale = $2\pi r h$

S. totale = $2\pi r h + \frac{\pi D^2}{4}$

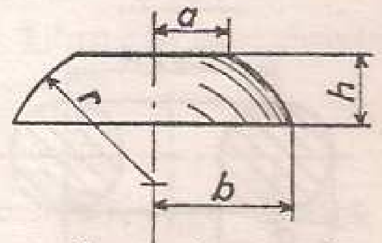
Prisme droit



S. lat = périm. de base × h

V = Surf. de base × h

Zone sphérique



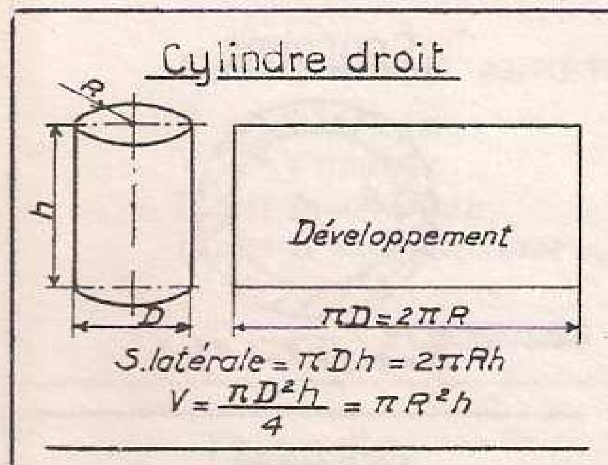
S. latérale = $2\pi r h$

$V = \frac{1}{6}\pi h(3a^2 + 3b^2 + h^2)$

SOLIDES GÉOMÉTRIQUES (suite)

SURFACES ET VOLUMES

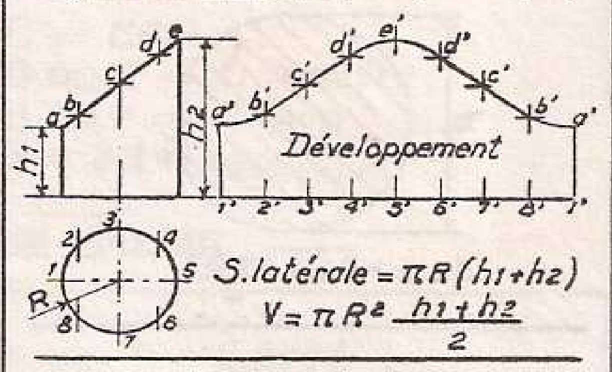
Cylindre droit



$S.latérale = \pi D h = 2\pi R h$

$V = \frac{\pi D^2 h}{4} = \pi R^2 h$

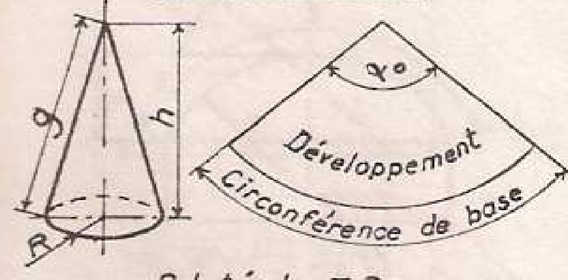
Cylindre droit (Coupe oblique)



$S.latérale = \pi R (h_1 + h_2)$

$V = \pi R^2 \frac{h_1 + h_2}{2}$

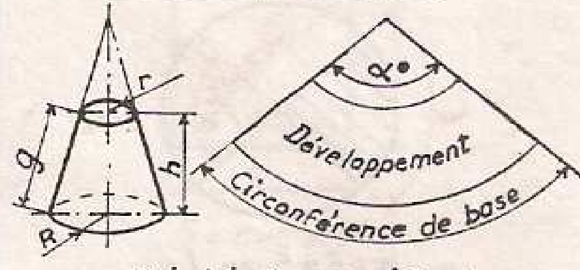
Cône droit



$S.latérale = \pi R g$

$V = \frac{1}{3} \pi R^2 h$

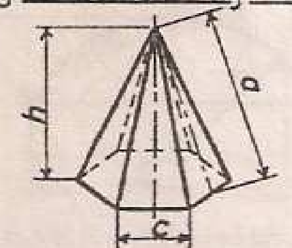
Tronc de cône



$S.latérale = \pi g (R + r)$

$V = (R^2 + r^2 + Rr) \frac{\pi h}{3}$

Pyramide régulière



$S.latérale = \frac{ca}{2} n$

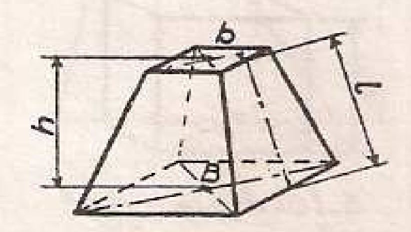
n = Nombre de côtés

a = Haut^r des triangles

$V = S \frac{h}{3}$

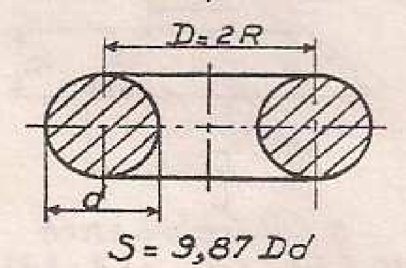
S = Surf. de base

Tronc de pyramide



$V = \frac{h}{3} (B + b + \sqrt{Bb})$

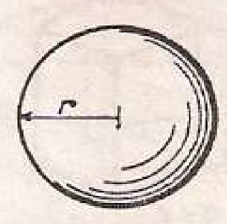
Tore



$S = 9{,}87\, Dd$

$V = 2{,}467 \times D d^2$

Sphère



$S = 4\pi r^2$

$V = \frac{4}{3} \pi r^3$

SOLIDES

A SURFACE DÉVELOPPABLE

I. Cylindre droit à base circulaire (*fig. page ci-contre*). Le développement de la surface latérale d'un cylindre est un rectangle.

La surface totale s'obtient, en ajoutant à la surface latérale celle des deux bases, on a donc :

$$S^t = 2\pi Rh + 2\pi R^2$$

II. Cylindre droit à section oblique. — La base du cylindre est un *cercle*; l'intersection est une *ellipse*. — Le schéma *page ci-contre* représente l'épure de développement.

III. Cône circulaire droit (*fig. page ci-contre*). — Solide engendré par la révolution d'un triangle rectangle autour d'un des côtés de l'angle droit. L'hypoténuse de ce triangle rectangle est la *génératrice* du cône.

Calcul de la génératrice g

Formule : $g = \sqrt{h^2 + R^2}$

Angle de développement. — L'angle au centre α a pour valeur : $\alpha = \dfrac{360° \times R}{g}$.

IV. Tronc de cône circulaire droit (*fig. page ci-contre*). — Portion de cône comprise entre la base et un plan parallèle à cette base.

Calcul de la génératrice g

Formule : $g = \sqrt{h^2 + (R - r)^2}$

Angle de développement. — L'angle au centre α a pour valeur : $\alpha = \dfrac{360° \times (R - r)}{g}$

V. Prisme droit (*fig. page* 17). — Dans un prisme droit :

1° les faces latérales sont des rectangles;

2° la *hauteur* du prisme est la distance des deux bases.

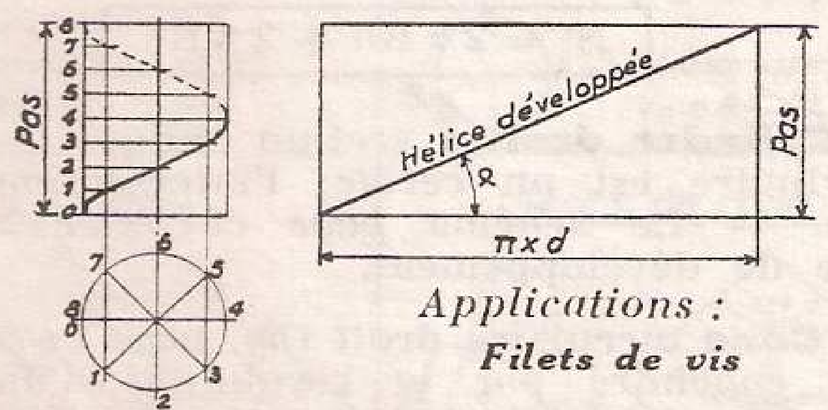
— COURBES USUELLES —

(Hélice et Développante de cercle)

I. Spire d'hélice cylindrique (*fig. ci-dessous*).

DÉVELOPPÉ. — Le développement d'une spire est la diagonale du rectangle ayant pour côtés $\pi \times d$ (diamètre) et le *pas*.

La tangente de l'angle d'inclinaison α est : $\frac{\text{Pas}}{\pi \times d}$



Applications :

Filets de vis

Tracé de l'hélice. — On divise la circonférence de base du cylindre et le pas de l'hélice en un même nombre de parties égales. — Les points de rencontre des lignes de rappel **verticales et horizontales** donnent des points de la courbe.

II. Développante de cercle.

Utilisée en dessin industriel pour le tracé des engrenages cylindriques à denture droite (*fig. p. 89*), cette courbe est décrite par le point C d'une droite

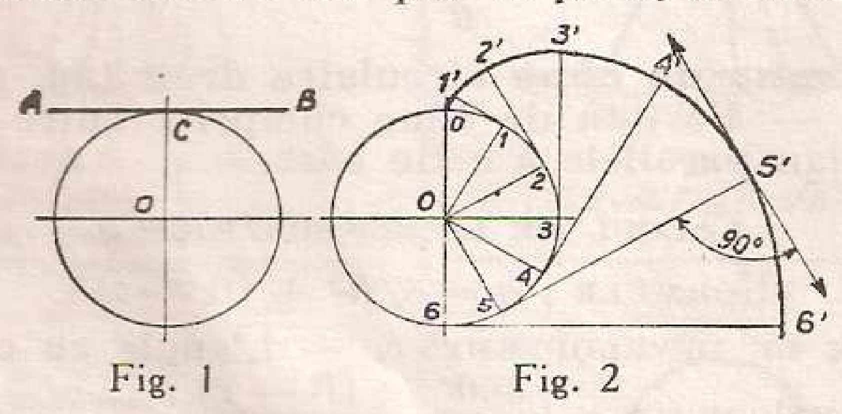


Fig. 1 Fig. 2

tg **1 . 1'** = arc **0 . 1**
tg **2 . 2'** = arc **0 . 2** ...etc.

AB (*fig. 1*) roulant sans glisser sur un cercle. — Normale à la courbe, cette droite est tangente à la circonférence de base.

Le principe du tracé (fig. 2) **est basé sur cette définition.**

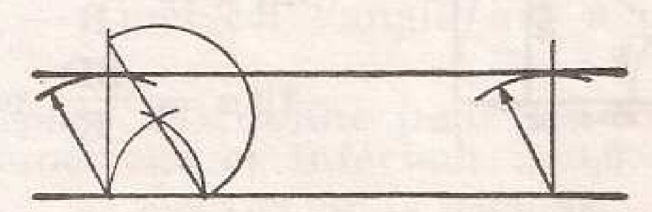
— NOTES COMPLÉMENTAIRES —

APPLICATIONS USUELLES de géométrie pratique

I. Traçage de pièces mécaniques.

— *Détermination d'un tracé quelconque.* — Le traçage commence par les axes principaux, puis les axes secondaires, ensuite les profils divers par rapport aux traits d'axe.

— *Traçage en l'air.* — C'est un traçage dont tous les éléments se trouvent dans des plans différents. Les *plans principaux* sont perpendiculaires entre eux; les *plans secondaires* sont des plans de symétrie d'éléments du tracé.



— *Traçage à plat.* — C'est celui qui s'exécute sur une surface plane d'une certaine étendue. Les tracés géométriques, à la règle et au compas, sont utilisés pour tracer les parallèles (*fig. ci-dessus*), les perpendiculaires et les courbes.

II. Traçage *sur métaux en feuilles.* — Cette opération s'apparente à celle du dessin géométrique dont elle emprunte les règles de construction.

REMARQUE. — On utilise généralement, pour le marquage des pièces en alliages légers, un CRAYON DUR **et non une** POINTE METALLIQUE.

III. Travaux d'ajustage. — Conditions géométriques imposées aux travaux d'ajustage :

— La *planéité* des surfaces (obtenue par limage à *traits croisés*, sous un angle de 40 à 45° par rapport à l'axe de la pièce) ;

— Le *parallélisme* et la *perpendicularité* des surfaces planes;

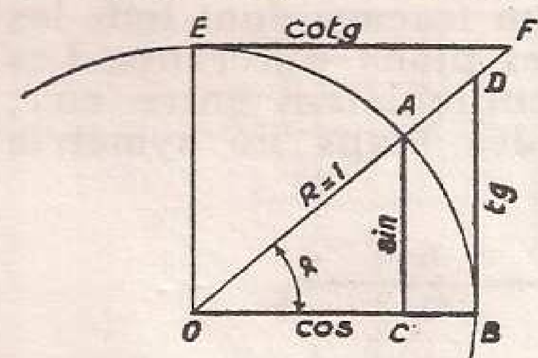
— Les *valeurs des angles* (glissières, coulisses, etc.);

— La *symétrie* de certains éléments ainsi que les *applications* à la conception des montages d'usinage.

TRIGONOMÉTRIE

Définition du CERCLE TRIGONOMÉTRIQUE
(fig. ci-dessous)

Dans un cercle de rayon égal à l'*unité*, le nombre qui mesure OC, pris avec la même unité de mesure que celle du rayon, donne la valeur du *cosinus* de l'angle α. Le nombre qui mesure AC donne la valeur du *sinus* de l'angle α, celui de BD la *tangente* de α, et celui de EF la *cotangente* de ce même angle.



Pour une circonférence de *rayon quelconque* R, on a :

$$\sin\alpha = \frac{AC}{R} \quad \cos\alpha = \frac{OC}{R}$$

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{BD}{R} \quad \text{cotg}\,\alpha = \frac{EF}{R}$$

— TABLE DES RAPPORTS — TRIGONOMÉTRIQUES NATURELS

(*pages 24 à 31*)

Les tables qui suivent ***(dont la lecture est directe)*** sont exprimées à *cinq décimales* de 10 en 10 minutes. — Elles donnent les valeurs trigonométriques des angles de 0 à 90°, le rayon étant égal à 1. — Ces tables permettent également de calculer :

a) Les valeurs trigonométriques des mêmes angles (0 à 90°) de MINUTE EN MINUTE.

I. EXEMPLE. — Calculer le sinus de 32° 46′.

La table (*page 24*) donne :

$$\sin 32°\,50' = 0{,}54220$$
$$\sin 32°\,40' = 0{,}53975$$

Différence pour 10′ = 0,00245 appelée *différence tabulaire* (DT).

Pour une augmentation de 6′, le sinus augmente de :

$$\frac{6 \times 0{,}00245}{10} = 0{,}00147,$$

donc : sinus 32° 46′ = 0,53975 + 0,00147 = **0,54122**

II. Exemple. — Calculer la tangente de 27° 23′.

La table (*page 28*) donne :

$$\text{tg}\,27°\,30' = 0{,}52057$$
$$\text{tg}\,27°\,20' = 0{,}51688$$

Différence pour 10′ = 0,00369, donc :

$$\text{tg}\,27°\,23' = 0{,}51688 + \frac{3 \times 0{,}00369}{10} = \mathbf{0{,}51798.}$$

b) Elles permettent aussi de trouver l'angle qui correspond à un rapport trigonométrique donné.

Exemple. — Quel est l'angle qui a pour cosinus 0,95907?

La table (*page 26*) donne pour les cosinus immédiatement supérieur et inférieur à 0,95907 :

$$\cos 16°\,20' = 0{,}95964$$
$$\cos 16°\,30' = 0{,}95882$$

Différence pour 10′ = 0,00082

Différence entre 0,95907 et 0,95882 = 0,00025.

Pour 0,00082, *l'angle diminue* de 10′.

Pour 0,00025, *l'angle diminue* de :

$$\frac{10' \times 25}{82} = 3' \text{ (résultat approché)}$$

donc l'angle cherché est 16° 30′ — 3′ = **16° 27′.**

On peut encore utiliser ces tables pour trouver :

c) Les valeurs trigonométriques des angles compris entre 90 et 180°, en sachant que :

1° *le sinus de l'angle α est égal au sinus de l'angle supplémentaire.*

Exemple : sin 128° = sin (180° — 128°) = sin 52°.

2° *le cosinus de l'angle α est égal au cosinus de l'angle supplémentaire affecté du signe moins* (—).

Exemple :

$$\cos 128° = -\cos(180° - 128°) = -\cos 52°$$

TABLE DES SINUS 0° → 45°

DEGRÉS	0′	10′	20′	30′	40′	50′
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01454
1	0,01745	0,02036	0,02327	0,02618	0,02908	0,03199
2	0,03490	0,03781	0,04071	0,04362	0,04653	0,04943
3	0,05234	0,05524	0,05814	0,06105	0,06395	0,06685
4	0,06976	0,07266	0,07556	0,07846	0,08136	0,08426
5	0,08716	0,09005	0,09295	0,09585	0,09874	0,10164
6	0,10453	0,10742	0,11031	0,11320	0,11609	0,11898
7	0,12187	0,12476	0,12764	0,13053	0,13341	0,13629
8	0,13917	0,14205	0,14493	0,14781	0,15069	0,15356
9	0,15643	0,15931	0,16218	0,16505	0,16792	0,17078
10	0,17365	0,17651	0,17937	0,18224	0,18509	0,18795
11	0,19081	0,19366	0,19652	0,19937	0,20222	0,20507
12	0,20791	0,21076	0,21360	0,21644	0,21928	0,22212
13	0,22495	0,22778	0,23062	0,23345	0,23627	0,23910
14	0,24192	0,24474	0,24756	0,25038	0,25320	0,25601
15	0,25882	0,26163	0,26443	0,26724	0,27004	0,27284
16	0,27564	0,27843	0,28123	0,28402	0,28680	0,28959
17	0,29237	0,29515	0,29793	0,30071	0,30348	0,30625
18	0,30902	0,31178	0,31454	0,31730	0,32006	0,32282
19	0,32557	0,32832	0,33106	0,33381	0,33655	0,33929
20	0,34202	0,34475	0,34748	0,35021	0,35293	0,35565
21	0,35837	0,36108	0,36379	0,36650	0,36921	0,37191
22	0,37461	0,37730	0,37999	0,38268	0,38537	0,38805
23	0,39073	0,39341	0,39608	0,39875	0,40142	0,40408
24	0,40674	0,40939	0,41204	0,41469	0,41734	0,41998
25	0,42262	0,42525	0,42788	0,43051	0,43313	0,43575
26	0,43837	0,44098	0,44359	0,44620	0,44880	0,45140
27	0,45399	0,45658	0,45917	0,46175	0,46433	0,46690
28	0,46947	0,47204	0,47460	0,47716	0,47971	0,48226
29	0,48481	0,48735	0,48989	0,49242	0,49495	0,49748
30	0,50000	0,50252	0,50503	0,50754	0,51004	0,51254
31	0,51504	0,51753	0,52002	0,52250	0,52498	0,52745
32	0,52992	0,53238	0,53484	0,53730	0,53975	0,54220
33	0,54464	0,54708	0,54951	0,55194	0,55436	0,55678
34	0,55919	0,56160	0,56401	0,56641	0,56880	0,57119
35	0,57358	0,57596	0,57833	0,58070	0,58307	0,58543
36	0,58779	0,59014	0,59248	0,59482	0,59716	0,59949
37	0,60182	0,60414	0,60645	0,60876	0,61107	0,61337
38	0,61566	0,61795	0,62024	0,62251	0,62479	0,62706
39	0,62932	0,63158	0,63383	0,63608	0,63832	0,64056
40	0,64279	0,64501	0,64723	0,64945	0,65166	0,65386
41	0,65606	0,65825	0,66044	0,66262	0,66480	0,66697
42	0,66913	0,67129	0,67344	0,67559	0,67773	0,67987
43	0,68200	0,68412	0,68624	0,68835	0,69046	0,69256
44	0,69466	0,69675	0,69883	0,70091	0,70298	0,70505

TABLE DES SINUS 45° → 90°

DEGRÉS	0′	10′	20′	30′	40′	50′
45	0,70711	0,70916	0,71121	0,71325	0,71529	0,71732
46	0,71934	0,72136	0,72337	0,72537	0,72737	0,72937
47	0,73135	0,73333	0,73531	0,73728	0,73924	0,74120
48	0,74314	0,74509	0,74703	0,74896	0,75088	0,75280
49	0,75471	0,75661	0,75851	0,76041	0,76229	0,76417
50	0,76604	0,76791	0,76977	0,77162	0,77347	0,77531
51	0,77715	0,77897	0,78079	0,78261	0,78442	0,78622
52	0,78801	0,78980	0,79158	0,79335	0,79512	0,79688
53	0,79864	0,80038	0,80212	0,80386	0,80558	0,80730
54	0,80902	0,81072	0,81242	0,81412	0,81580	0,81748
55	0,81915	0,82082	0,82248	0,82413	0,82577	0,82741
56	0,82904	0,83066	0,83228	0,83389	0,83549	0,83708
57	0,83867	0,84025	0,84182	0,84339	0,84495	0,84650
58	0,84805	0,84959	0,85112	0,85264	0,85416	0,85567
59	0,85717	0,85866	0,86015	0,86163	0,86310	0,86457
60	0,86603	0,86748	0,86892	0,87036	0,87178	0,87321
61	0,87462	0,87603	0,87743	0,87882	0,88020	0,88158
62	0,88295	0,88431	0,88566	0,88701	0,88835	0,88968
63	0,89101	0,89232	0,89363	0,89493	0,89623	0,89752
64	0,89879	0,90007	0,90133	0,90259	0,90383	0,90507
65	0,90631	0,90753	0,90875	0,90996	0,91116	0,91236
66	0,91355	0,91472	0,91590	0,91706	0,91822	0,91936
67	0,92050	0,92164	0,92276	0,92388	0,92499	0,92609
68	0,92718	0,92827	0,92935	0,93042	0,93148	0,93253
69	0,93358	0,93462	0,93565	0,93667	0,93769	0,93869
70	0,93969	0,94068	0,94167	0,94264	0,94361	0,94457
71	0,94552	0,94646	0,94740	0,94832	0,94924	0,95015
72	0,95106	0,95195	0,95284	0,95372	0,95459	0,95545
73	0,95630	0,95715	0,95799	0,95882	0,95964	0,96046
74	0,96126	0,96206	0,96285	0,96363	0,96440	0,96517
75	0,96593	0,96667	0,96742	0,96815	0,96887	0,96959
76	0,97030	0,97100	0,97169	0,97237	0,97304	0,97371
77	0,97437	0,97502	0,97566	0,97630	0,97692	0,97754
78	0,97815	0,97875	0,97934	0,97992	0,98050	0,98107
79	0,98163	0,98218	0,98272	0,98325	0,98378	0,98430
80	0,98481	0,98531	0,98580	0,98629	0,98676	0,98723
81	0,98769	0,98814	0,98858	0.98902	0,98944	0,98986
82	0,99027	0,99067	0,99106	0,99144	0,99182	0,99219
83	0,99255	0,99290	0,99324	0,99357	0,99390	0,99421
84	0,99452	0,99482	0,99511	0,99540	0,99567	0,99594
85	0,99619	0,99644	0,99668	0,99692	0,99714	0,99736
86	0,99756	0,99776	0,99795	0,99813	0,99831	0,99847
87	0,99863	0,99878	0,99892	0,99905	0,99917	0,99929
88	0,99939	0,99949	0,99958	0,99966	0,99973	0,99979
89	0,99985	0,99989	0,99993	0,99996	0,99998	0,99999

TABLE DES COSINUS 0° → 45°

DEGRÉS	0′	10′	20′	30′	40′	50′
0	1,00000	1,00000	0,99998	0,99996	0,99993	0,99989
1	0,99985	0,99979	0,99973	0,99966	0,99958	0,99949
2	0,99939	0,99929	0,99917	0,99905	0,99892	0,99878
3	0,99863	0,99847	0,99831	0,99813	0,99795	0,99776
4	0,99756	0,99736	0,99714	0,99692	0,99668	0,99644
5	0,99619	0,99594	0,99567	0,99540	0,99511	0,99482
6	0,99452	0,99421	0,99390	0,99357	0,99324	0,99290
7	0,99255	0,99219	0,99182	0,99144	0,99106	0,99067
8	0,99027	0,98986	0,98944	0,98902	0,98858	0,98814
9	0,98769	0,98723	0,98676	0,98629	0,98580	0,98531
10	0,98481	0,98430	0,98378	0,98325	0,98272	0,98218
11	0,98163	0,98107	0,98050	0,97992	0,97934	0,97875
12	0,97815	0,97754	0,97692	0,97630	0,97566	0,97502
13	0,97437	0,97371	0,97304	0,97237	0,97169	0,97100
14	0,97030	0,96959	0,96887	0,96815	0,96742	0,96667
15	0,96593	0,96517	0,96440	0,96363	0,96285	0,96206
16	0,96126	0,96046	0,95964	0,95882	0,95799	0,95715
17	0,95630	0,95545	0,95459	0,95372	0,95284	0,95195
18	0,95106	0,95015	0,94924	0,94832	0,94740	0,94646
19	0,94552	0,94457	0,94361	0,94264	0,94167	0,94068
20	0,93969	0,93869	0,93769	0,93667	0,93565	0,93462
21	0,93358	0,93253	0,93148	0,93042	0,92881	0,92827
22	0,92718	0,92609	0,92499	0,92388	0,92276	0,92164
23	0,92050	0,91936	0,91822	0,91706	0,91590	0,91472
24	0,91355	0,91236	0,91116	0,90996	0,90875	0,90753
25	0,90631	0,90507	0,90383	0,90259	0,90133	0,90007
26	0,89879	0,89752	0,89623	0,89493	0,89363	0,89232
27	0,89101	0,88968	0,88835	0,88701	0,88566	0,88431
28	0,88295	0,88158	0,88020	0,87882	0,87743	0,87603
29	0,87462	0,87321	0,87178	0,87036	0,86892	0,86748
30	0,86603	0,86457	0,86310	0,86163	0,86015	0,85866
31	0,85717	0,85567	0,85416	0,85264	0,85112	0,84959
32	0,84805	0,84650	0,84495	0,84339	0,84182	0,84025
33	0,83867	0,83708	0,83549	0,83389	0,83228	0,83066
34	0,82904	0,82741	0,82577	0,82413	0,82248	0,82082
35	0,81915	0,81748	0,81580	0,81412	0,81242	0,81072
36	0,80902	0,80730	0,80558	0,80386	0,80212	0,80038
37	0,79864	0,79688	0,79512	0,79335	0,79158	0,78980
38	0,78801	0,78622	0,78442	0,78261	0,78079	0,77897
39	0,77715	0,77531	0,77347	0,77162	0,76977	0,76791
40	0,76604	0,76417	0,76229	0,76041	0,75851	0,75661
41	0,75471	0,75280	0,75088	0,74896	0,74703	0,74509
42	0,74314	0,74120	0,73924	0,73728	0,73531	0,73333
43	0,73135	0,72937	0,72737	0,72537	0,72337	0,72136
44	0,71934	0,71732	0,71529	0,71325	0,71121	0,70916

TABLE DES COSINUS 45° → 90°

DEGRÉS	0′	10′	20′	30′	40′	50′
45	0,70711	0,70505	0,70298	0,70091	0,69883	0,69675
46	0,69466	0,69256	0,69046	0,68835	0,68624	0,68412
47	0,68200	0,67987	0,67773	0,67559	0,67344	0,67129
48	0,66913	0,66697	0,66480	0,66262	0,66044	0,65825
49	0,65606	0,65386	0,65166	0,64945	0,64723	0,64501
50	0,64279	0,64056	0,63832	0,63608	0,63383	0,63158
51	0,62932	0,62706	0,62479	0,62251	0,62024	0,61795
52	0,61566	0,61337	0,61107	0,60876	0,60645	0,60414
53	0,60182	0,59949	0,59716	0,59482	0,59248	0,59014
54	0,58779	0,58543	0,58307	0,58070	0,57833	0,57596
55	0,57358	0,57119	0,56880	0,56641	0,56401	0,56160
56	0,55919	0,55678	0,55436	0,55194	0,54951	0,54708
57	0,54464	0,54220	0,53975	0,53730	0,53484	0,53238
58	0,52992	0,52745	0,52498	0,52250	0,52002	0,51753
59	0,51504	0,51254	0,51004	0,50754	0,50503	0,50252
60	0,50000	0,49748	0,49495	0,49242	0,48989	0,48735
61	0,48481	0,48226	0,47971	0,47716	0,47460	0,47204
62	0,46947	0,46690	0,46433	0,46175	0,45917	0,45658
63	0,45399	0,45140	0,44880	0,44620	0,44359	0,44098
64	0,43837	0,43575	0,43313	0,43051	0,42788	0,42525
65	0,42262	0,41998	0,41734	0,41469	0,41204	0,40939
66	0,40674	0,40408	0,40141	0,39875	0,39608	0,39341
67	0,39073	0,38805	0,38537	0,38268	0,37999	0,37730
68	0,37461	0,37191	0,36921	0,36650	0,36379	0,36108
69	0,35837	0,35565	0,35293	0,35021	0,34748	0,34475
70	0,34202	0,33929	0,33655	0,33381	0,33106	0,32832
71	0,32557	0,32282	0,32006	0,31730	0,31454	0,31178
72	0,30902	0,30625	0,30348	0,30071	0,29793	0,29515
73	0,29237	0,28959	0,28680	0,28402	0,28123	0,27843
74	0,27564	0,27284	0,27004	0,26724	0,26443	0,26163
75	0,25882	0,25601	0,25320	0,25038	0,24756	0,24474
76	0,24192	0,23910	0,23627	0,23345	0,23062	0,22778
77	0,22495	0,22212	0,21928	0,21644	0,21360	0,21076
78	0,20791	0,20507	0,20222	0,19937	0,19652	0,19366
79	0,19081	0,18795	0,18509	0,18224	0,17937	0,17651
80	0,17365	0,17078	0,16792	0,16505	0,16218	0,15931
81	0,15643	0,15356	0,15069	0,14781	0,14493	0,14205
82	0,13917	0,13629	0,13341	0,13053	0,12764	0,12476
83	0,12187	0,11898	0,11609	0,11320	0,11031	0,10742
84	0,10453	0,10164	0,09874	0,09584	0,09295	0,09005
85	0,08716	0,08426	0,08136	0,07846	0,07556	0,07266
86	0,06976	0,06685	0,06395	0,06105	0,05814	0,05524
87	0,05234	0,04943	0,04653	0,04362	0,04071	0,03781
88	0,03490	0,03199	0,02908	0,02618	0,02327	0,02036
89	0,01745	0,01454	0,01164	0,00873	0,00582	0,00291

TABLE DES TANGENTES 0° → 45°

DEGRÉS	0′	10′	20′	30′	40′	50′
0	0,00000	0,00291	0,00582	0,00873	0,01164	0,01455
1	0,01746	0,02036	0,02328	0,02619	0,02910	0,03201
2	0,03492	0,03783	0,04075	0,04366	0,04658	0,04949
3	0,05241	0,05533	0,05824	0,06116	0,06408	0,06700
4	0,06993	0,07285	0,07578	0,07870	0,08163	0,08456
5	0,08749	0,09042	0,09335	0,09629	0,09923	0,10216
6	0,10510	0,10805	0,11099	0,11394	0,11688	0,11983
7	0,12278	0,12574	0,12869	0,13165	0,13461	0,13758
8	0,14054	0,14351	0,14648	0,14945	0,15243	0,15540
9	0,15838	0,16137	0,16435	0,16734	0,17033	0,17333
10	0,17633	0,17933	0,18233	0,18534	0,18835	0,19136
11	0,19438	0,19740	0,20042	0,20345	0,20648	0,20952
12	0,21256	0,21560	0,21864	0,22169	0,22475	0,22781
13	0,23087	0,23393	0,23700	0,24008	0,24316	0,24624
14	0,24933	0,25242	0,25552	0,25862	0,26172	0,26483
15	0,26795	0,27107	0,27419	0,27732	0,28046	0,28360
16	0,28675	0,28990	0,29305	0,29621	0,29938	0,30255
17	0,30573	0,30891	0,31210	0,31530	0,31850	0,32171
18	0,32492	0,32814	0,33136	0,33460	0,33783	0,34108
19	0,34433	0,34758	0,35085	0,35412	0,35740	0,36068
20	0,36397	0,36727	0,37057	0,37388	0,37720	0,38053
21	0,38386	0,38721	0,39055	0,39391	0,39727	0,40065
22	0,40403	0,40741	0,41081	0,41421	0,41763	0,42105
23	0,42447	0,42791	0,43136	0,43481	0,43828	0,44175
24	0,44523	0,44872	0,45222	0,45573	0,45924	0,46277
25	0,46631	0,46985	0,47341	0,47698	0,48055	0,48414
26	0,48773	0,49134	0,49495	0,49858	0,50222	0,50587
27	0,50953	0,51319	0,51688	0,52057	0,52427	0,52798
28	0,53171	0,53545	0,53920	0,54296	0,54673	0,55051
29	0,55431	0,55812	0,56194	0,56577	0,56962	0,57348
30	0,57735	0,58124	0,58513	0,58905	0,59297	0,59691
31	0,60086	0,60483	0,60881	0,61280	0,61681	0,62083
32	0,62487	0,62892	0,63299	0,63707	0,64117	0,64528
33	0,64941	0,65355	0,65771	0,66189	0,66608	0,67028
34	0,67451	0,67875	0,68301	0,68728	0,69157	0,69588
35	0,70021	0,70455	0,70891	0,71329	0,71769	0,72211
36	0,72654	0,73100	0,73547	0,73996	0,74447	0,74900
37	0,75355	0,75812	0,76272	0,76733	0,77196	0,77661
38	0,78129	0,78598	0,79070	0,79544	0,80020	0,80498
39	0,80978	0,81461	0,81946	0,82434	0,82923	0,83415
40	0,83910	0,84407	0,84906	0,85408	0,85912	0,86419
41	0,86929	0,87441	0,87955	0,88473	0,88992	0,89515
42	0,90040	0,90569	0,91099	0,91633	0,92170	0,92709
43	0,93252	0,93797	0,94345	0,94896	0,95451	0,96008
44	0,96569	0,97133	0,97700	0,98270	0,98843	0,99420

TABLE DES TANGENTES 45° → 90°

DEGRÉS	0′	10′	20′	30′	40′	50′
45	1,00000	1,00583	1,01170	1,01761	1,02355	1,02952
46	1,03553	1.04158	1,04766	1,05378	1,05994	1,06613
47	1,07237	1,07864	1,08496	1,09131	1,09770	1,10414
48	1,11061	1,11713	1,12369	1,13029	1,13694	1,14363
49	1,15037	1,15715	1,16398	1,17085	1,17777	1,18474
50	1,19175	1,19882	1,20593	1,21310	1,22031	1,22758
51	1,23490	1,24227	1,24969	1,25717	1,26471	1,27230
52	1,27994	1,28764	1,29541	1,30323	1,31110	1,31904
53	1,32704	1,33511	1,34323	1,35142	1,35968	1,36800
54	1,37638	1,38484	1,39336	1,40195	1,41061	1,41934
55	1,42815	1,43703	1,44598	1,45501	1,46411	1,47330
56	1,48256	1,49190	1,50133	1,51084	1,52043	1,53010
57	1,53986	1,54972	1,55966	1,56969	1,57981	1,59002
58	1,60033	1,61074	1,62125	1,63185	1,64256	1,65337
59	1,66428	1,67530	1,68643	1,69766	1,70901	1,72047
60	1,73205	1,74375	1,75556	1,76749	1,77955	1,79174
61	1,80405	1,81649	1,82906	1,84177	1,85462	1,86760
62	1,88073	1,89400	1,90741	1,92098	1,93470	1,94858
63	1,96261	1,97681	1,99116	2,00569	2,02039	2,03526
64	2,05030	2,06553	2,08094	2,09654	2,11233	2,12832
65	2,14451	2,16090	2,17749	2,19430	2,21233	2,22857
66	2,24604	2,26374	2,28167	2,29984	2,31826	2,33693
67	2,35585	2,37504	2,39449	2,41421	2,43422	2.45451
68	2,47509	2,49597	2,51715	2,53865	2,56046	2,58261
69	2,60509	2,62791	2,65109	2,67462	2,69853	2,72281
70	2,74748	2,77254	2,79802	2,82391	2,85023	2,87700
71	2,90421	2,93189	2,96004	2,98868	3,01783	3,04749
72	3,07768	3,10842	3,13972	3,17159	3,20406	3,23714
73	3,27085	3,30521	3,34023	3,37594	3,41236	3,44951
74	3,48741	3,52609	3,56557	3,60588	3,64705	3,68909
75	3,73205	3,77595	3,82083	3,86671	3,91364	3,96165
76	4,01078	4,06107	4,11256	4,16530	4,21933	4,27471
77	4,33148	4,38969	4,44942	4,51071	4,57363	4,63825
78	4,70463	4,77286	4,84300	4,91516	4,98940	5,06584
79	5,14455	5,22566	5,30928	5,39552	5,48451	5,57638
80	5,67128	5,76936	5,87080	5,97576	6,08444	6,19703
81	6,31375	6,43484	6,56055	6,69116	6,82694	6,96823
82	7,11537	7,26873	7,42871	7,59575	7,77035	7,95302
83	8,14435	8,34496	8,55555	8,77689	9,00983	9,25530
84	9,51436	9,78817	10,0780	10,3854	10,7119	11,0594
85	11,4300	11,8262	12,2505	12,7062	13,1969	13,7267
86	14,3006	14,9244	15,6048	16,3498	17,1693	18,0750
87	19,0811	20,2056	21,4704	22,9037	24,5418	26.4316
88	28,6362	31,2416	34,3678	38,1884	42,9641	49,1039
89	57,2899	68,7500	85,9398	114,5886	171,8854	343,7737

TABLE DES COTANGENTES 0° → 45°

DEGRÉS	0′	10′	20′	30′	40′	50′
0	....	343,7737	171,8854	114,5886	85,9398	68,7501
1	57,2899	49,1038	42,9640	38,1885	34,3678	31,2416
2	28,6363	26,4316	24,5418	22,9038	21,4704	20,2056
3	19,0811	18,0750	17,1693	16,3499	15,6048	14,9244
4	14,3006	13,7267	13,1969	12,7062	12,2505	11,8262
5	11,4301	11,0594	10,7119	10,3854	10,0780	9,78817
6	9,51436	9,25530	9,00983	8,77689	8,55555	8,34496
7	8,14436	7,95302	7,77035	7,59575	7,42871	7,26873
8	7,11537	6,96823	6,82694	6,69116	6,56055	6,43484
9	6,31375	6,19703	6,08444	5,97576	5,87080	5,76937
10	5,67128	5,57638	5.48451	5,39552	5,30928	5,22566
11	5,14455	5,06584	4,98940	4,91516	4,84300	4,77286
12	4,70463	4,63825	4,57363	4,51071	4,44942	4,38969
13	4,33148	4,27471	4,21933	4,16530	4,11256	4,06107
14	4,01078	3,96165	3,91364	3,86671	3,82083	3,77595
15	3,73205	3,68909	3,64705	3,60588	3,56557	3,52609
16	3,48741	3,44951	3,41236	3,37594	3,34023	3,30521
17	3,27085	3,23714	3,20406	3,17159	3,13972	3,10842
18	3,07768	3,04749	3,01783	2,98868	2,96004	2,93189
19	2,90421	2,87700	2,85023	2,82391	2,79802	2,77254
20	2,74748	2,72281	2,69853	2,67462	2,65109	2,62791
21	2,60509	2,58261	2,56046	2,53865	2,51715	2,49597
22	2,47509	2,45451	2,43422	2,41421	2,39449	2,37504
23	2,35585	2,33693	2,31826	2,29984	2,28167	2,26374
24	2,24604	2,22857	2,21132	2,19430	2,17749	2,16090
25	2,14451	2,12832	2,11233	2,09654	2,08094	2,06553
26	2,05030	2,03526	2,02039	2,00569	1,99116	1,97681
27	1,96261	1,94858	1,93470	1,92098	1,90741	1,89400
28	1,88073	1,86760	1,85462	1,84177	1,82906	1,81649
29	1,80405	1,79174	1,77955	1,76749	1,75556	1,74375
30	1,73205	1,72047	1,70901	1,69766	1,68643	1,67530
31	1,66428	1,65337	1,64256	1,63185	1,62125	1,61074
32	1,60033	1,59002	1,57981	1,56969	1,55966	1,54972
33	1,53986	1,53010	1,52043	1,51084	1,50133	1,49190
34	1,48256	1,47330	1,46411	1,45501	1,44598	1,43703
35	1,42815	1,41934	1,41061	1,40195	1,39336	1,38484
36	1,37638	1,36800	1,35968	1,35142	1,34323	1,33511
37	1,32704	1,31904	1,31110	1,30323	1,29541	1,28764
38	1,27994	1,27230	1,26471	1,25717	1,24969	1,24227
39	1,23490	1,22758	1,22031	1,21310	1,20593	1,19882
40	1,19175	1,18474	1,17777	1,17085	1,16398	1,15715
41	1,15037	1,14363	1,13694	1,13029	1,12369	1,11713
42	1,11061	1,10414	1,09770	1,09131	1,08496	1,07864
43	1,07237	1,06613	1,05994	1,05378	1,04766	1,04158
44	1,03553	1,02952	1,02355	1,01761	1,01170	1,00583

TABLE DES COTANGENTES 45° → 90°

DEGRÉS	0′	10′	20′	30′	40′	50′
45	1,00000	0,99420	0,98842	0,98270	0,97700	0,97133
46	0,96569	0,96008	0,95451	0,94896	0,94345	0,93797
47	0,93252	0,92709	0,92170	0,91633	0,91099	0,90569
48	0,90040	0,89515	0,88992	0,88473	0,87955	0,87441
49	0,86929	0,86419	0,85912	0,85408	0,84906	0,84407
50	0,83910	0,83415	0,82923	0,82434	0,81946	0,81461
51	0,80978	0,80498	0,80020	0,79544	0,79070	0,78598
52	0,78129	0,77661	0,77196	0,76733	0,76272	0,75812
53	0,75355	0,74900	0,74447	0,73996	0,73547	0,73100
54	0,72654	0,72211	0,71769	0,71329	0,70891	0,70455
55	0,70021	0,69588	0,69157	0,68728	0,68301	0,67875
56	0,67451	0,67028	0,66608	0,66189	0,65771	0,65355
57	0,64941	0,64528	0,64117	0,63707	0,63299	0,62892
58	0,62487	0,62083	0,61681	0,61280	0,60881	0,60483
59	0,60086	0,59691	0,59297	0,58905	0,58513	0,58124
60	0,57735	0,57348	0,56962	0,56577	0,56194	0,55812
61	0,55431	0,55051	0,54673	0,54296	0,53920	0,53545
62	0,53171	0,52798	0,52427	0,52057	0,51688	0,51319
63	0,50953	0,50587	0,50222	0,49858	0,49495	0,49134
64	0,48773	0,48414	0,48055	0,47698	0,47341	0,46985
65	0,46631	0,46277	0,45924	0,45573	0,45222	0,44872
66	0,44523	0,44175	0,43828	0,43481	0,43136	0,42791
67	0,42447	0,42105	0,41763	0,41421	0,41081	0,40741
68	0,40403	0,40065	0,39727	0,39391	0,39055	0,38721
69	0,38386	0,38053	0,37720	0,37388	0,37057	0,36727
70	0,36397	0,36068	0,35740	0,35412	0,35085	0,34758
71	0,34433	0,34108	0,33783	0,33460	0,33136	0,32814
72	0,32492	0,32171	0,31850	0,31530	0,31210	0,30891
73	0,30573	0,30255	0,29938	0,29621	0,29305	0,28990
74	0,28675	0,28360	0,28046	0,27732	0,27419	0,27107
75	0,26795	0,26483	0,26172	0,25862	0,25552	0,25242
76	0,24933	0,24624	0,24316	0,24008	0,23700	0,23393
77	0,23087	0,22781	0,22475	0,22169	0,21864	0,21560
78	0,21256	0,20952	0,20648	0,20345	0,20042	0,19740
79	0,19438	0,19136	0,18835	0,18534	0,18233	0,17933
80	0,17633	0,17333	0,17033	0,16734	0,16435	0,16137
81	0,15838	0,15540	0,15243	0,14945	0,14648	0,14351
82	0,14054	0,13758	0,13461	0,13165	0,12869	0,12574
83	0,12278	0,11983	0,11688	0,11394	0,11099	0,10805
84	0,10510	0,10216	0,09923	0,09629	0,09335	0,09042
85	0,08749	0,08456	0,08163	0,07870	0,07578	0,07285
86	0,06993	0,06700	0,06408	0,06116	0,05824	0,05533
87	0,05241	0,04948	0,04658	0,04366	0,04075	0,03783
88	0,03492	0,03200	0,02910	0,02618	0,02328	0,02036
89	0,01746	0,01454	0,01163	0,00872	0,00582	0,00291

RESOLUTION DES TRIANGLES

Les côtés des triangles représentés ci-après sont indiqués par les lettres minuscules *a, b, c,* et les angles opposés à ces côtés par les majuscules A, B, C.

— RAPPORTS —

relatifs à l'angle d'un triangle rectangle (fig. 1)

$$\frac{b}{a} = \sin \alpha \qquad \frac{b}{c} = \text{tg}\, \alpha$$

$$\frac{c}{a} = \cos \alpha \qquad \frac{c}{b} = \text{cotg}\, \alpha$$

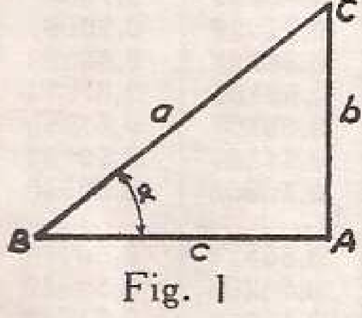


Fig. 1

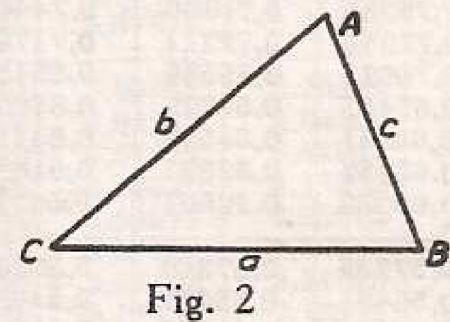


Fig. 2

RELATIONS ENTRE LES ÉLÉMENTS DES TRIANGLES

Triangle rectangle (fig. 1)

Règles fondamentales :

I. — *Un côté de l'angle droit d'un triangle rectangle est égal au produit de l'hypoténuse* par le SINUS *de l'angle opposé à ce côté, ou par le* COSINUS *de l'angle adjacent:*

$$b = a \times \sin B \qquad b = a \times \cos C$$

$$c = a \times \sin C \qquad c = a \times \cos B$$

II. — *Un côté de l'angle droit d'un triangle rectangle est égal au produit de l'autre côté de l'angle droit par la* TANGENTE *de l'angle opposé au côté cherché ou par la* COTANGENTE *de l'angle adjacent à ce côté :*

$$b = c \times \text{tg}\, B \qquad b = c \times \text{cotg}\, C$$

$$c = b \times \text{tg}\, C \qquad c = b \times \text{cotg}\, B$$

Théorème de PYTHAGORE :

1° *Le carré de l'hypoténuse est égal à la somme des carrés des deux autres côtés.*

2° *Le carré d'un côté de l'angle droit est égal au carré de l'hypoténuse moins le carré de l'autre côté.*

Formule : $a^2 = b^2 + c^2$

De cette égalité, nous déduisons que :

$$b^2 = a^2 - c^2$$
$$c^2 = a^2 - b^2$$

Et, en extrayant les racines carrées, nous obtenons :

$$a = \sqrt{b^2 + c^2}$$
$$b = \sqrt{a^2 - c^2}$$
$$c = \sqrt{a^2 - b^2}$$

Triangle quelconque (fig. 2)

Règles fondamentales :

I. — *Dans un triangle quelconque, les côtés sont proportionnels aux sinus des angles opposés :*

$$\frac{a}{\sin A} = \frac{b}{\sin B} = \frac{c}{\sin C}$$

II. — *Dans un triangle quelconque, le carré d'un côté est égal à la somme des carrés des deux autres côtés, moins deux fois le produit de ces côtés multiplié par le cosinus de l'angle qu'ils comprennent :*

$$a^2 = b^2 + c^2 - 2\,bc \times \cos A$$
$$b^2 = a^2 + c^2 - 2\,ac \times \cos B$$
$$c^2 = a^2 + b^2 - 2\,ab \times \cos C$$

III. — *Chaque côté d'un triangle quelconque est égal à la somme des produits des deux autres côtés par le cosinus de l'angle qu'il forme avec le premier:*

$$a = b \times \cos C + c \times \cos B$$
$$b = a \times \cos C + c \times \cos A$$
$$c = a \times \cos B + b \times \cos A$$

NOTA. — Pour les angles supérieurs à 90°, voir page 37.

TRIANGLES RECTANGLES

La résolution des triangles rectangles peut présenter quatre cas, suivant que l'on connaît :

1° *L'hypoténuse et un angle aigu;*

2° *L'hypoténuse et un côté de l'angle droit;*

3° *Un côté de l'angle droit et l'angle aigu opposé à ce côté;*

4° *Les deux côtés de l'angle droit.*

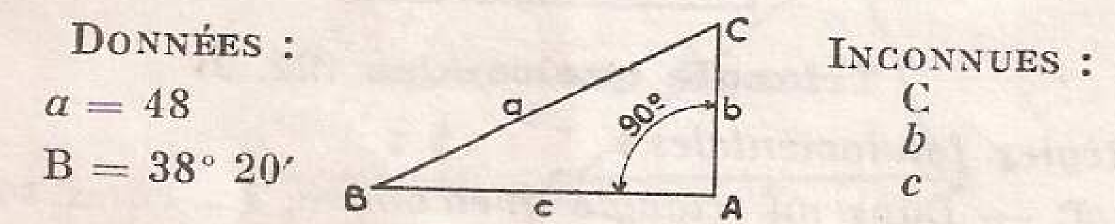
— EXEMPLES NUMÉRIQUES —

Premier cas. — Dans un triangle rectangle, on connaît l'hypoténuse a et un angle aigu B. *Calculer l'autre angle et les autres côtés.*

DONNÉES :

$a = 48$

$B = 38° 20'$



INCONNUES :

C

b

c

Application des formules :

$$C = 90° - B = 90° - 38° 20' = \mathbf{51° 40'}$$

$$b = a \times \sin B = 48 \times \sin 38° 20'$$

$$= 48 \times 0{,}62024 = \mathbf{29{,}77}$$

$$c = a \sin C = 48 \times \sin \mathbf{51° 40'}$$

$$= 48 \times 0{,}78442 = \mathbf{37{,}65}$$

Deuxième cas. — Dans un triangle rectangle, on connaît l'hypoténuse a et un côté b. *Calculer les angles du triangle et l'autre côté.*

DONNÉES :

$a = 60$

$b = 34$

INCONNUES :

B

C

c

Application des formules :

$$\sin B = \frac{b}{a} = \frac{34}{60} = 0{,}56666, \text{ soit } B = \mathbf{34° 30'}$$

$$C = 90° - 34° 30' = \mathbf{55° 30'}$$

(Suite)

$$c = a \cos B = 60 \times \cos 34^\circ 30'$$
$$= 60 \times 0{,}82413 = \mathbf{49{,}44}$$

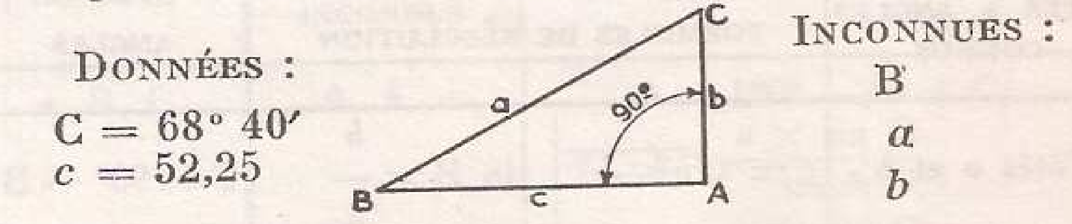
REMARQUE. — Le côté c peut également être calculé par la géométrie, en appliquant le théorème de Pythagore, c'est-à-dire en posant :

$$c = \sqrt{a^2 - b^2} = \sqrt{(a + b)(a - b)}$$

Troisième cas. — Dans un triangle rectangle, on connaît un côté c et un angle aigu C. *Calculer l'autre angle et les autres côtés.*

DONNÉES :

$C = 68^\circ 40'$
$c = 52{,}25$



INCONNUES :

B
a
b

Application des formules :

$$B = 90^\circ - C = 90^\circ - 68^\circ 40' = \mathbf{21^\circ 20'}$$

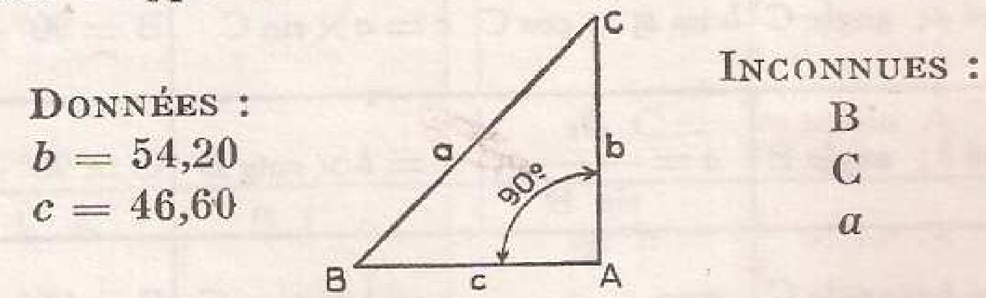
$$a = \frac{c}{\sin C} = \frac{52{,}25}{\sin 68^\circ 40'} = \frac{52{,}25}{0{,}93148} = \mathbf{56{,}09}$$

$$b = \frac{c}{\operatorname{tg} C} = \frac{52{,}25}{\operatorname{tg} 68^\circ 40'} = \frac{52{,}25}{2{,}56046} = \mathbf{20{,}40}$$

Quatrième cas. — Dans un triangle rectangle, on connaît les deux côtés b et c de l'angle droit. *Calculer l'hypoténuse et les angles aigus.*

DONNÉES :

$b = 54{,}20$
$c = 46{,}60$



INCONNUES :

B
C
a

Application des formules :

$$\operatorname{tg} B = \frac{b}{c} = \frac{54{,}20}{46{,}60} = 1{,}16309 \qquad \text{soit } B = \mathbf{49^\circ 20'}$$

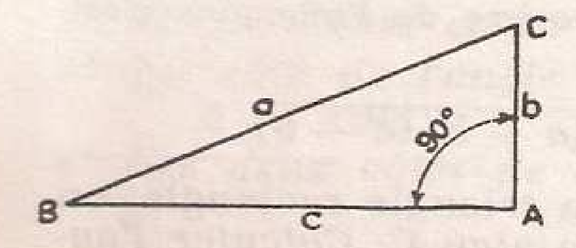
$$C = 90^\circ - 49^\circ 20' = \mathbf{40^\circ 40'}$$

$$a = \frac{b}{\sin B} = \frac{54{,}20}{\sin 49^\circ 20'} = \frac{54{,}20}{0{,}75851} = \mathbf{71{,}45}$$

TABLEAU

DE RÉSOLUTION DES TRIANGLES RECTANGLES

(Récapitulation des formules)



Les formules suivantes déterminent les relations qui unissent les angles et les côtés.

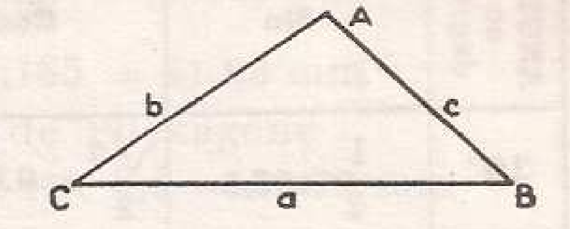
COTÉS & ANGLES CONNUS	FORMULES DE RÉSOLUTION		ANGLES
Côtés a et b	$c = \sqrt{a^2 - b^2}$	$\sin B = \frac{b}{a}$	$C = 90° - B$
Côtés a et c	$b = \sqrt{a^2 - c^2}$	$\sin C = \frac{c}{a}$	$B = 90° - C$
Côtés b et c	$a = \sqrt{b^2 + c^2}$	$\text{tang } B = \frac{b}{c}$	$C = 90° - B$
Côté a ; angle B	$b = a \times \sin B$	$c = a \times \cos B$	$C = 90° - B$
Côté a ; angle C	$b = a \times \cos C$	$c = a \times \sin C$	$B = 90° - C$
Côté b ; angle B	$a = \frac{b}{\sin B}$	$c = b \times \text{cotg } B$	$C = 90° - B$
Côté b ; angle C	$a = \frac{b}{\cos C}$	$c = b \times \text{tang } C$	$B = 90° - C$
Côté c ; angle B	$a = \frac{c}{\cos B}$	$b = c \times \text{tang } B$	$C = 90° - B$
Côté c ; angle C	$a = \frac{c}{\sin C}$	$b = c \times \text{cotg } C$	$B = 90° - C$

TABLEAU

DE RÉSOLUTION DES TRIANGLES QUELCONQUES

(Récapitulation des formules)

Les formules suivantes déterminent les relations qui unissent les angles et les côtés.



DONNÉES	ÉLÉMENTS INCONNUS	FORMULES DE RÉSOLUTION
a, B, C	A, b, c	$A = 180° - (B + C)$ $b = \frac{a \times \sin B}{\sin A}$ $c = \frac{a \times \sin C}{\sin A}$
A, b, c	a, B, C	$a^2 = b^2 + c^2 - 2\,bc \times \cos A$ $\sin B = \frac{b}{a} \times \sin A$ $\sin C = \frac{c}{a} \times \sin A$
a, b, c	A, B, C	$\cos A = \frac{b^2 + c^2 - a^2}{2\,bc}$ $\sin B = \frac{b}{a} \times \sin A$ $\sin C = \frac{c}{a} \times \sin A$
a, b, A	B, C, c	$\sin B = \frac{b}{a} \times \sin A$ $C = 180° - (A + B)$ $c = \frac{a \times \sin C}{\sin A}$

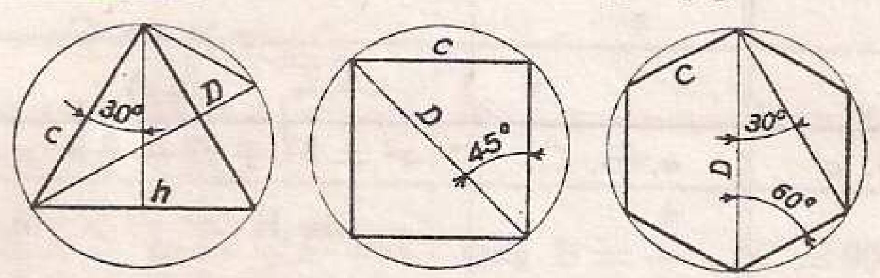
REMARQUE. — *Pour l'angle* A *supérieur à* 90° *se rappeler que :*

$$\sin A = \sin (180° - A)$$
$$\cos A = -\cos (180° - A)$$

VALEURS DE RAPPORTS TRIGONOMÉTRIQUES D'ANGLES USUELS

ANGLES en degrés	Sin	Cos	Tg	Cotg
30°	$\frac{1}{2} = 0{,}5$	$\frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}866...$	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}577...$	$\sqrt{3} = 1{,}732...$
45°	$\frac{\sqrt{2}}{2} = 0{,}707...$	$\frac{\sqrt{2}}{2} = 0{,}707...$	1	1
60°	$\frac{\sqrt{3}}{2} = 0{,}866...$	$\frac{1}{2} = 0{,}5$	$\sqrt{3} = 1{,}732...$	$\frac{1}{\sqrt{3}} = 0{,}577...$

<u>Applications.</u> — Principaux polygones :



Triangle équilatéral. — Calculer la hauteur h et le diamètre D en fonction du côté c.

$$h = \frac{c\sqrt{3}}{2} = c \cos 30° = c \times 0{,}866$$

$$D = \frac{c}{\cos 30°} = \frac{c}{0{,}866} \text{ ou } D = 1{,}155\,c$$

Application numérique. — Pour un triangle équilatéral de côté $c = 32$ mm, on a :

$$h = 32 \times 0{,}866 = \mathbf{27{,}71} \text{ mm}$$

$$D = \frac{32}{0{,}866} = \mathbf{36{,}96} \text{ mm}$$

$$\textit{ou } D = 32 \times 1{,}155 = \mathbf{36{,}96} \text{ mm}$$

Carré. — Calculer le diamètre D du cylindre susceptible de donner un carré de 30 mm de côté c.

$$D = \frac{c}{\sin \text{ ou } \cos 45°} = \frac{30}{0{,}707} = \mathbf{42{,}42} \text{ mm}$$

$$\textit{ou } D = c \times \sqrt{2} = 30 \times 1{,}414 = \mathbf{42{,}42} \text{ mm}$$

Hexagone (*6 pans*). — 1° Déterminer le diamètre D du cylindre susceptible de donner un hexagone de 36 mm sur plats = *p*.

$$D = \frac{p}{\sin 60°} = \frac{36}{0,866} = \mathbf{41,58}\ \text{mm}$$

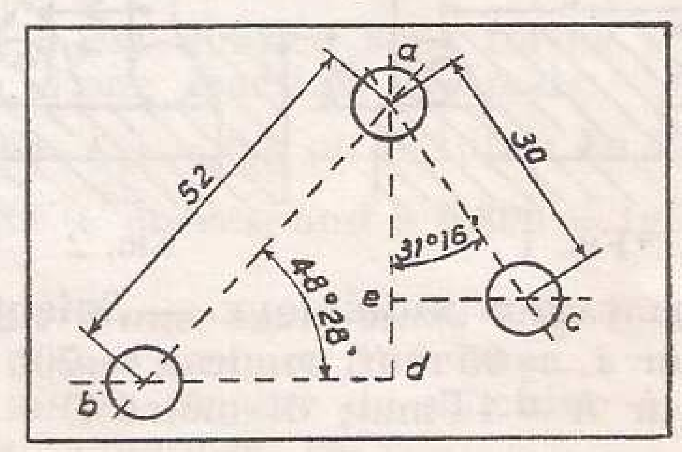
$$\text{ou} \quad D = 36 \times 1,155 = \mathbf{41,58}\ \text{mm}$$

2° Déterminer le côté *c* de l'hexagone

$$c = D \times \cos 60° = 41,58 \times 0,5 = \mathbf{20,79}\ \text{mm}$$

QUELQUES APPLICATIONS
DU CALCUL TRIGONOMÉTRIQUE

TRAVAIL sur machine à pointer.



Lorsque les cotes d'entraxes sont déterminées par des angles, le calcul des coordonnées (*déplacements de la pièce à l'aide des coulisses transversale et longitudinale de la table de la machine*), s'effectue par la RÉSOLUTION DES TRIANGLES.

Application pour pièce montée sur table :

EXEMPLE. — Soit à percer sur machine à pointer les 3 trous représentés par le schéma ci-dessus.

Nous avons successivement :

$ad = ab \times \sin 48°\,28' = 52 \times 0,74896 = \mathbf{38,945}$
$bd = ab \times \cos 48°\,28' = 52 \times 0,66262 = \mathbf{34,456}$
$ae = ac \times \cos 31°\,16' = 30 \times 0,85476 = \mathbf{25,642}$
$ec = ac \times \sin 31°\,16' = 30 \times 0,51902 = \mathbf{15,570}$

REMARQUE. — Les exemples donnés (pages 22 et 23) **pour le calcul des rapports trigonométriques des angles de MINUTE EN MINUTE, permettent de résoudre tous les cas qui se présentent dans le travail sur machine à pointer.**

ASSEMBLAGE EN QUEUE D'ARONDE

(fig. ci-dessous)

Relations entre les divers éléments

FORMULES

$$l = L - \frac{2h}{\text{tg}\,\alpha} = L - 2h\,\text{cotg}\,\alpha$$

$$L = l + \frac{2h}{\text{tg}\,\alpha} = l + 2h\,\text{cotg}\,\alpha$$

$$h = (L - l)\,\frac{\text{tg}\,\alpha}{2} \quad \Bigg\| \quad \text{tg}\,\alpha = \frac{2h}{L - 1}$$

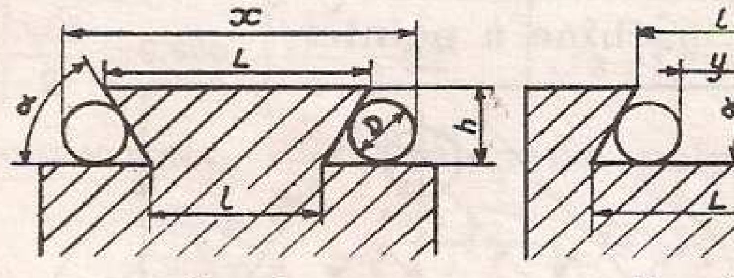


Fig. 1 — Fig. 2

Application numérique. — Soient :
largeur $L = 95$ mm; angle $\alpha = 70°$
hauteur $h = 14$ mm; diamètre $D = 10$ mm.

CALCULS déterminant les cotes de vérification:

Pour la queue d'aronde (fig. 1) :

$$x = l + \left[D \left(1 + \text{cotg}\,\frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

on a : $\frac{\alpha}{2} = 35°$ $\quad$ $\text{cotg}\,35° = 1{,}42815$

et :

$$l = 95 - \frac{2 \times 14}{\text{tg}\,70°} = 95 - \frac{28}{2{,}74748} = 84{,}79$$

La dimension x sera :

$84{,}79 + [10 \times (1 + 1{,}42815)] =$ **109,07**

Pour la queue d'aronde (fig. 2) :

$$y = L - \left[D \left(1 + \text{cotg}\,\frac{\alpha}{2} \right) \right]$$

La dimension y sera :

$95 - [10 \times (1 + 1{,}42815)] =$ **70,71.**

Pente (symbole p). — En mathématiques, c'est la *tangente trigonométrique de l'angle que fait une droite avec le plan horizontal.* Suivant figure ci-contre, la pente de CA par rapport à CB est la tangente de l'angle α.

EXEMPLE NUMÉRIQUE : AB = 6,2 mm; BC = 28 mm.

Nous avons :

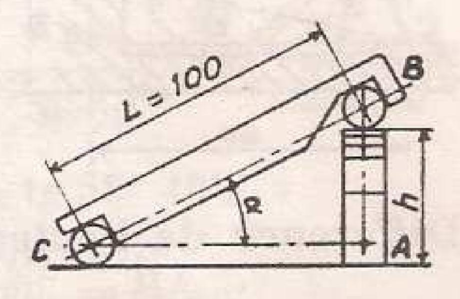
$$p = \operatorname{tg} \alpha = \frac{AB}{BC} = \frac{6{,}2}{28} = 0{,}2214, \quad \text{d'où } \alpha = 12^\circ\ 30'$$

La pente p est donnée sous forme d'un nombre décimal ou d'une fraction décimale.

Ex. : $p = 0{,}8$ ou $8/10$ ou $80\ \%$

Pente 80 % correspond à $0{,}800 = \operatorname{tg} 38^\circ\ 40'$

Utilisation *d'une barre-sinus* (fig. ci-dessous). — Cet appareil (qui permet d'incliner, avec précision, une pièce ou un organe de machine à un angle α donné), est composé essentiellement d'une règle, sous laquelle sont fixés deux *galets* cylindriques parfaitement calibrés au même diamètre et distants d'entr'axe d'une longueur L de 100 mm.



— Le réglage de l'angle α ou de la pente p est obtenu, en utilisant des cales *étalonnées* disposées entre la face d'appui et les galets.

FORMULES permettant de déterminer la hauteur h des cales à utiliser.

a) Pour un angle α donné :

$$h = AB = 100 \times \text{sinus } \alpha$$

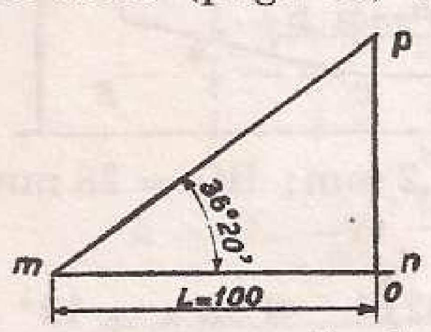
b) Pour une pente p donnée :

$$h = CA \times p.$$

— ***Construction d'un angle*** à l'aide de la table des tangentes.

EXEMPLE : Soit à construire un angle de 36° 20′.

La table (page 28) donne : tg $\alpha = 0{,}73547$.



PROCÉDÉ DE TRAÇAGE :

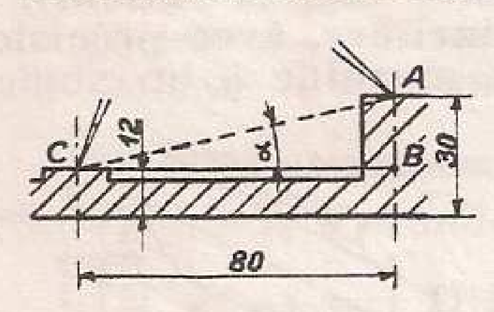
a) Tracer une droite *mn* et porter sur cette droite une longueur L égale à 100 mm (*ou multiple de 100*);

b) A une extrémité, élever une perpendiculaire *op*;

c) Porter la valeur L × tg 36° 20′ sur cette perpendiculaire (*soit 73,54 pour 100 mm*);

d) Joindre ensuite les extrémités *mp* pour obtenir l'angle demandé.

— ***Détermination d'un tracé.*** Exemple numérique :



Les bossages de la pièce représentée par le croquis ci-contre ayant des hauteurs différentes, calculer l'ouverture de compas d'un point d'un bossage à l'autre, afin d'obtenir la cote de 80 mm d'axe en axe.

a) Différence de hauteur des bossages :

$$AB = 30 - 12 = 18 \text{ mm}$$

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{18}{80} = 0{,}2250 \quad \text{d'où } \alpha = \mathbf{12^\circ\,40'}$$

b) CALCUL de l'ouverture de compas :

$$AC = \frac{BC}{\cos\alpha} = \frac{BC}{\cos 12^\circ\,40'} = \frac{80}{0{,}9756} = \mathbf{82} \text{ mm}$$

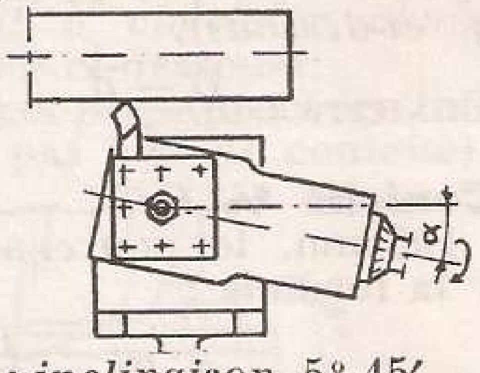
LETTRES de l'alphabet grec, utilisées dans les formules pour représenter les angles :

α (alpha)	γ (gamma)	θ (thêta)	φ (phi)
β (bêta)	δ (delta)	μ (mû)	ω (oméga)

DOCUMENTATION TECHNIQUE

ET CALCULS D'USINAGE

I. Tournage (*passes de précision*).



COTES DIAMÉTRALES AU 1/100 de mm, obtenues par orientation du chariot porte-outil, dont le tambour est gradué en 1/20 de mm.

EXEMPLES :

Pour graduation en 1/20 : *inclinaison* 5° 45′

$$\sin \alpha = \frac{1}{10} = 0{,}100 \text{ d'où } \alpha = 5°\,45'$$

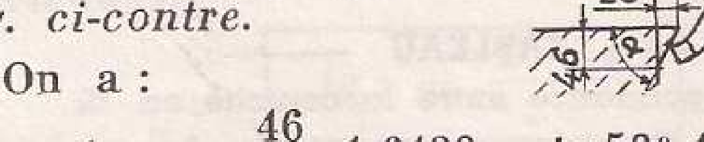
Pour graduation en 1/10 : *inclinaison* 2° 52′

$$\sin \alpha' = \frac{0{,}5}{10} = 0{,}050 \text{ d'où } \alpha' = 3° \text{ (environ)}$$

II. *Surface oblique.*

RABOTAGE. — *Exemple :*

— Soit une surface inclinée à usiner aux cotes données par *fig. ci-contre.*



On a :

$$\text{tg}\,\alpha = \frac{46}{28}\ 1{,}6428 = \text{tg}\ 58°\,40'.$$

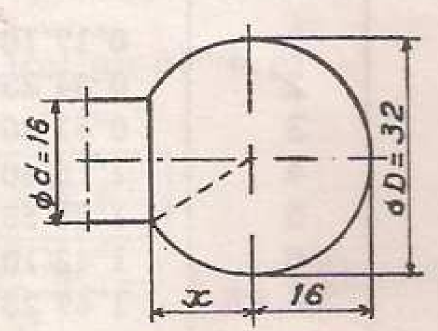
Inclinaison de la tête porte-outil :

$$\beta = 90° - 58°\,40' = \mathbf{31°\,20'}.$$

III. *Surface sphérique.*

TOURNAGE. — *Exemple:*

— Soit à déterminer la cote x de la rotule représentée fig. ci-contre.



$$\text{FORMULE} : x = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{d}{2}\right)^2}$$

$$x = \sqrt{16^2 - 8^2} = \sqrt{192} = \mathbf{13{,}85\ mm}$$

Conicité C. — Quotient de la différence des diamètres D et d par la longueur l d'un tronc de cône (*fig. ci-dessous*).

CONICITÉ $= \dfrac{D - d}{l}$ *Demi-conicité* $\dfrac{D - d}{2l}$

Conicité % C %. — Rapporté à une longueur l de 100 mm, le pourcentage de conicité est donné par la formule :

$$C\,\% = \frac{D - d}{l} \times 100$$

Eléments d'un tronc de cône

Tournage conique. — NOTA : La tangente de l'angle d'orientation α du chariot porte-outil est égale à la *demi-conicité*.

TABLEAU

de correspondance entre la conicité en % et le 1/2 angle au sommet du cône

Conicité en %	1/2 angle au sommet	Conicité en %	1/2 angle au sommet
1	0°17'10"	8	2°17'30"
2	0°34'23"	10	2°51'45"
3	0°51'30"	12	3°26'00"
4	1° 8'40"	15	4°17'20"
5	1°25'56"	16	4°34'30"
6	1°43'10"	18	5° 8'30"
6,25	1°47'20"	20	5°42'30"

Conicités normalisées : 1 %, 2 %, 5 %, 10 % et 20 %.

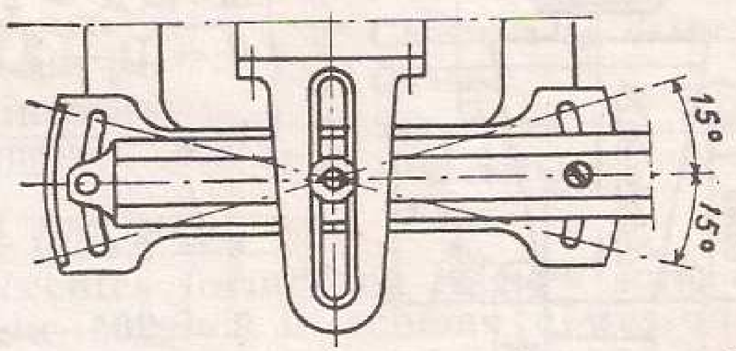
Au-delà de 20 %, les conicités sont exprimées en degrés (angle au sommet du cône).

TOURNAGE CONIQUE. — Procédés d'exécution :

1° *Orientation de la coulisse du chariot porte-outil* (procédé d'usage le plus courant);

2° *Utilisation d'un appareil à charioter conique* (représenté par le schéma ci-dessous);

3° *Désaxage de la contre-poupée* (procédé limité aux cônes ne dépassant pas 5 % de conicité).



REMARQUE. — Quel que soit le procédé employé, le tranchant de l'outil doit se trouver exactement à hauteur de l'axe de la pièce **(axe des pointes).**

—— USINAGE D'UN CONE (fig. page ci-contre) ——

(Calculs des différents éléments)

Un cône peut être défini :

a) Par ses diamètres D et d et sa longueur l.

— Valeur de l'angle d'inclinaison α du chariot porte-outil :

$$\boxed{\operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{2\,l}}$$

Exemple numérique. — Soit un cône de D = 48 mm; d = 25 mm; l = 30 mm.

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{D - d}{2\,l} = \frac{48 - 25}{2 \times 30} = 0{,}38386 \quad \text{d'où } \alpha = \mathbf{21°}$$

b) Par le diamètre D, la longueur l et α.

— Calcul du diamètre d :

$$\boxed{d = D - 2\,l \operatorname{tg} \alpha}$$

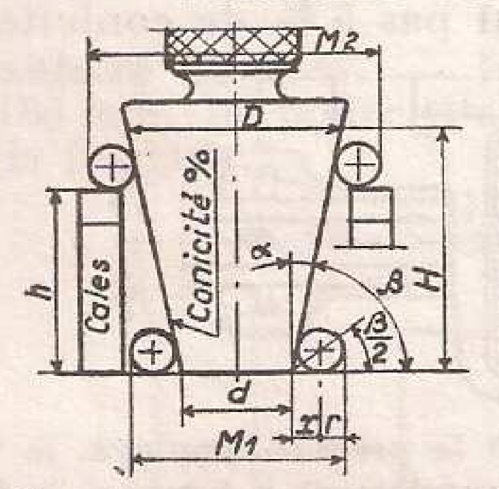
c) Par D, l et conicité % C %. — Par définition :

$$C = 2\,p = 100\,\frac{D - d}{l} = 200 \operatorname{tg} \alpha$$

$$\text{d'où : } \operatorname{tg} \alpha = \frac{C}{200} \text{ et } d = D - \frac{l \times C}{100}$$

— **Contrôle d'un cône** à l'aide de piges. — Un cône extérieur peut être contrôlé sur un marbre (avec précision), à l'aide de piges cylindriques calibrées et des cales (*genre Johansson*).

FORMULES DE VÉRIFICATION :



$$M^1 = d + 2x + 2r$$

$$d = D - 2H \operatorname{tg} \alpha$$

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{conicité}}{200}$$

$$x = r \operatorname{cotg} \frac{\beta}{2}$$

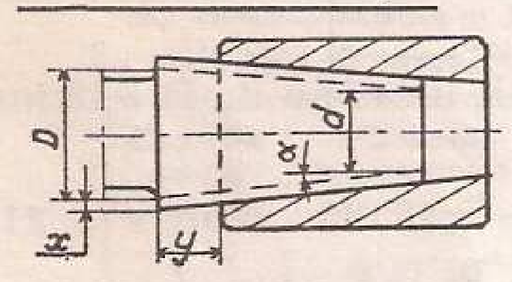
$$\beta = 90° - \alpha$$

$$M^2 = M^1 + 2h \operatorname{tg} \alpha$$

— **Chariotage automatique** (entre pointes) des troncs de cônes de *grande longueur* et de *faible conicité*. — On calcule le désaxage x de la contrepointe (en mm), en multipliant la différence des diamètres $D - d$ du tronc de cône par la longueur totale L de la pièce et en divisant le produit obtenu par deux fois la longueur l de la partie conique.

FORMULE : $x = L \left(\frac{D - d}{2l}\right) = L \left(\frac{R - r}{l}\right)$

— **Pénétration conique.** — *Tournage et Rectification :*



CALCUL de la profondeur de passe x en fonction d'une longueur d'emmanchement y.

FORMULES :

$$x = y \times \operatorname{tg} \alpha; \quad \operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{conicité } \%}{200}$$

Exemple appliqué à un cône « Morse » n° 3.

Conicité 5,019 % $y = 8$ mm

$$\operatorname{tg} \frac{\alpha}{2} = \frac{5{,}019}{200} = 0{,}02509$$

$x = 8 \times 0{,}02509 = 0{,}20072$, soit **0,2 mm**

— *Cônes Morse et cônes Standard américain :* Schémas et dimensions (pages 116, 117 et 118).

RECTIFICATION

(Usinage par abrasion)

L'OUTIL MEULE. — Une meule est définie par ses dimensions, sa forme, ses spécifications.

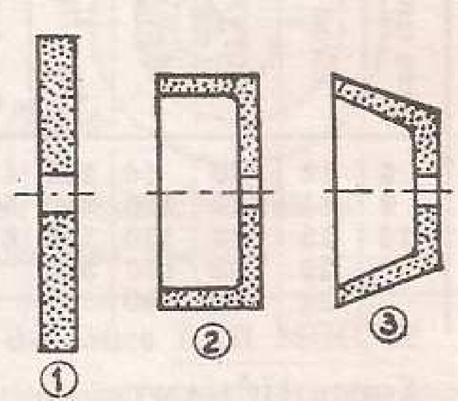
— L'ensemble des éléments énoncés ci-après, constitue les *spécifications* (1) d'une meule :

Eléments représentés par cinq symboles normalisés		
	1° ABRASIF.	A
	2° GROSSEUR DE GRAIN . . .	46
	3° GRADE.	K
	4° STRUCTURE (facultatif).	5
	5° AGGLOMÉRANT.	V

FORMES DES MEULES :

— Les différentes formes de meules sont déterminées par leur emploi, le schéma ci-dessous représente quelques *formes courantes.*

1. Meule plate simple.
2. Meule boisseau droit.
3. Meule boisseau conique.



— Caractéristiques *de constitution*

(1) ABRASIFS ARTIFICIELS. — On distingue :

— les abrasifs alumineux (*symbole* A) tirés de la bauxite et dénommés *Alundum, Corindon...*

— les abrasifs silicieux (*symbole* C) constitués par du carbure de silicium et appelés : *Crystolon, Carborundum...*

L'abrasif *diamant* en poudre (*symbole* D) utilisé pour la *finition* de l'affûtage des outils en carbures métalliques.

(2) GROSSEUR DE GRAIN. — L'échelle des grosseurs de grain (Tableau page suivante), est représentée par des nombres allant de 6 à 600.

— Le numéro indique le nombre de mailles par pouce linéaire **(25,4 mm)**, qui constitue le tamis au travers duquel les grains ont passé.

(1) Les spécifications Norton se lisent : 38A46 K5VG.

(3) GRADE (le) *symbolisé* par une lettre allant de D à Z, caractérise la dureté d'une meule.

En général, on utilise des meules dites *tendres* pour la rectification des métaux durs et inversement.

(4) STRUCTURE. — Indice de l'espacement des grains d'abrasif. Elle est caractérisée par un symbole (*chiffre variant de 1 à 12*).

— Pour les travaux de rectification cylindrique, une meule à structure moyenne (*en principe 5 ou 6*) est utilisée.

TABLEAU de numérotage des grains abrasifs						GRADE			
Très gros	Gros	Moyen	Fin	Très fin	Poudres	Moyen	Tendre	Dur	Très dur
6	12	30	90	200	400	D	I	N	S
8	14	36	100	240	500	E	J	O	T
10	15	46	120	280	600	F	K	P	U
	20	60	150	320		G	L	Q	W
	24	80	180			H	M	R	Z

(5) AGGLOMÉRANT. — Matière qui lie les grains d'abrasif entre eux; une lettre *normalisée* désigne la nature de l'agglomérant :

V désigne l'agglomérant Vitrifié (*argile*).
B — — Résinoïde (*résine synthétique*).
S — — Silicate (*silicate de soude*).
R — — Rubber (*caoutchouc*).
E — — Shellac (*gomme laque*).
M — — Métallique (*utilisé pour la fabrication* des meules diamant).

— Les meules vitrifiées sont les plus employées, leur vitesse périphérique limite doit être comprise entre 25 et 33 m/s.

— Les meules résinoïdes sont employées pour les travaux d'ébarbage à grande vitesse (45 à 60 m/s) et pour le tronçonnage.

VITESSE D'UTILISATION DES MEULES. — Les trois éléments suivants : vitesse circonférentielle, diamètre et nombre de tours par minute, sont liés par la formule : $V = \frac{\pi \times D \times n}{60}$ dans laquelle :

V, Vitesse en mètres par seconde,
D, Diamètre de la meule (*exprimé en mètres*).
n, nombre de tours par minute.
$\pi = 3{,}1416$.

SENS DE ROTATION PIÈCE ET MEULE

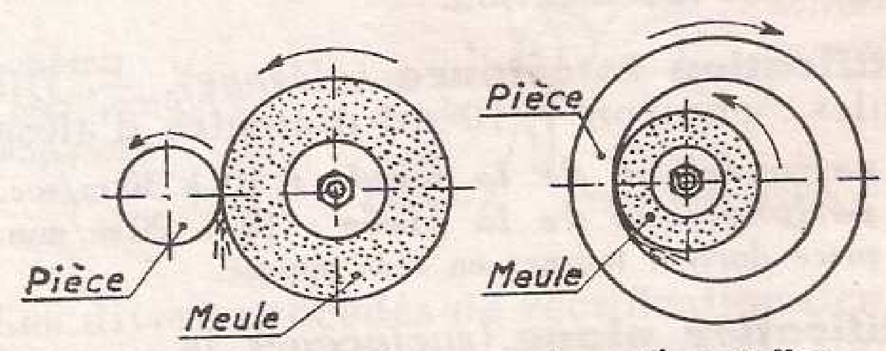


TABLEAU de vitesses circonférentielles et nombre de tours des meules

DIAMÈTRE des meules en mm	Nombre de tours PAR MINUTE pour les vitesses circonférentielles PAR SECONDE d'environ :			
	20 mètres	25 mètres	30 mètres	33 mètres
50	7.640	9.540	11.450	12.600
75	5.090	6.370	7.640	8.200
100	3.820	4.780	5.730	6.300
125	3.050	3.820	4.580	5.050
150	2.465	3.080	3.700	4.200
175	2.180	2.720	3.280	3.600
200	1.908	2.390	2.860	3.100
250	1.528	1.910	2.290	2.500
300	1.273	1.590	1.910	2.070
350	1.090	1.360	1.640	1.780
400	954	1.180	1.430	1.550

VITESSE PÉRIPHÉRIQUE DES PIÈCES : de 6 à 20 m/mn (pour rectification cylindrique).

(Usinage par abrasion)

EMPLOI DES MEULES :

— **Rectification cylindrique** extérieure. — Les meules utilisées sont généralement des meules plates simples. Elle sont désignées par leurs trois dimensions :

D × E × A

Diamètre × Epaiss. × Alés.

Profondeur de passe : 0,01 à 0,1 mm.
Avance : 1/2 à 3/4 de l'épaisseur de la meule.
Meulage sous lubrification.

— **Rectification intérieure** (*alésage*). — Diamètre des meules : environ 7/10 du diamètre d'alésage.

Vitesse périphérique de la meule : 10 à 30 m/sec.
Vitesse périphérique de la pièce : 10 à 20 m/min.
Meule et pièce doivent tourner en sens opposé.

— **Rectification plane** (*surfaçage*)

Vitesse de translation de la table : 15 à 20 m/min.
Avance transversale : 1/3 largeur de meule.
Profondeur de passe : variable suivant les qualités de l'acier rectifié,

NOTA. — La surface de contact *meule-pièce* étant grande, on utilise, en rectification plane, des meules de *grade tendre*.

On utilise également des couronnes de segments, fixés par un montage spécial.

— **Rectification conique.** — La rectification des pièces à surfaces de révolution conique extérieure ou intérieure, est réalisée par deux procédés :

1° *Entre pointes* pour les surfaces coniques extérieures, dont le demi-angle au sommet est au maximum égal à 15 ou 20°.

2° *En l'air* pour surfaces coniques extérieures et intérieures, la tête porte-pièce est inclinée suivant le demi-angle au sommet du cône.

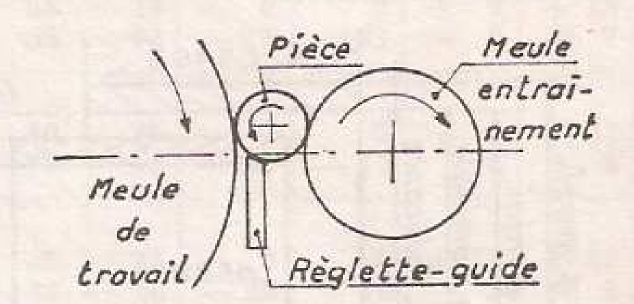
NOTA. — Pour les calculs d'inclinaison (voir tournage conique *pages 45 et 46*).

Dressage des meules de rectification. — On utilise un diamant adapté à un montage spécial. — Pendant l'opération, la meule tourne à vitesse réduite sous un arrosage abondant. — Profondeur de passe : 0,02 mm maximum.

— Rectification sans centres (« Centerless »)

pour pièces rectifiées en grande série, ou pièces trop flexibles ou trop longues pour être rectifiées entre pointes.

Schéma de la rectification Centerless



— Les divers procédés de rectification *Centerless* : travail en *enfilade*, travail en *plongée*... sont imposés par la forme et les dimensions des pièces.

— Les meules les plus employées en rectification *Centerless* sont à agglomérant vitrifié.

— RECTIFICATION DES ENGRENAGES :

a) *Rectification par meules de forme;*

b) — *en développante par meules assiettes.*

Les engrenages étant toujours rectifiés après traitements thermiques, des meules tendres sont utilisées pour leur rectification.

— RECTIFICATION DES FILETAGES :

Cette opération se pratique sur des machines spéciales, munies d'un dispositif de déplacement relatif de la meule et de la pièce, pour obtenir le pas à exécuter.

— Lubrifiants *de rectification* —

COMPOSITION COURANTE :

Eau	100 litres
Carbonate de potasse anhydre..........	3,5 kilos
Carbonate de soude anhydre...........	0,5 kilo
Huile de colza.............................	1,5 litre

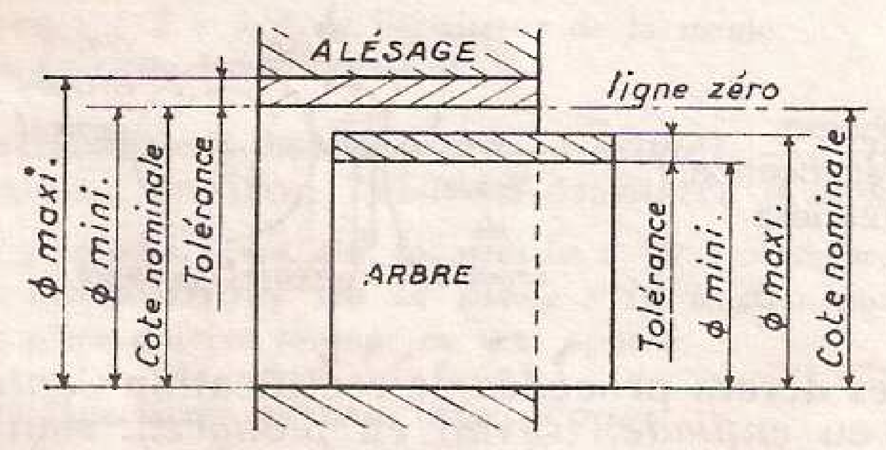
AJUSTEMENTS

DES PIÈCES LISSES INTERCHANGEABLES

Arbres et Alésages

SYSTÈME A LIMITES INTERNATIONAL I.S.O. (1). — Dans ce système, la désignation des *tolérances* de fabrication est caractérisée par deux symboles :

a) **Symbole de qualité.** — Ce symbole est caractérisé par un nombre (6 à 11 pour les alésages, 5 à 11 pour les arbres) dont la valeur *augmente* lorsque la précision *diminue*.



b) **Symbole de position.** — La position correspondant à la *cote nominale* est désignée par une lettre *majuscule* H pour l'alésage normal; une lettre *minuscule* pour l'arbre normal. Les autres positions sont réparties de part et d'autre de la ligne zéro correspondant à la cote nominale.

EXEMPLES D'AJUSTEMENTS

employés en mécanique générale

— En prenant pour base l'alésage normal H 7 (*fabrication soignée*), le tableau page ci-contre donne, avec les arbres suivants :

e 8	un assemblage	*libre*;
f 7	—	*tournant*;
g 6	—	*glissant*;
h 6	—	*glissant juste*;
j 6	—	*légèrement dur*;
m 6	—	*bloqué*;
p 6	—	*pressé*.

(1) International Organization for Standardization — ancien I.S.A. (International federation of the national Standarding Associations).

AJUSTEMENTS. — Séries simplifiées de tolérances usuelles exprimées en microns : *0,001 mm*

GROUPE H 7

DIAMÈTRE nominal — D —	ALÉSAGE H 7	ARBRES						
		e 8	f 7	g 6	h 6	j 6	m 6	p 6
6 à 10								
max........	+ 15	— 25	— 13	— 5	0	+ 7	+ 15	+ 24
min........	0	— 47	— 28	— 14	— 9	— 2	+ 6	+ 15
10 à 18								
max........	+ 18	— 32	— 16	— 6	0	+ 8	+ 18	+ 29
min........	0	— 59	— 34	— 17	— 11	— 3	+ 7	+ 18
18 à 30								
max........	+ 21	— 40	— 20	— 7	0	+ 9	+ 21	+ 35
min........	0	— 73	— 41	— 20	— 13	— 4	+ 8	+ 22
30 à 50								
max........	+ 25	— 50	— 25	— 9	0	+ 11	+ 25	+ 42
min........	0	— 89	— 50	— 25	— 16	— 5	+ 9	+ 26
50 à 80								
max........	+ 30	— 60	— 30	— 10	0	+ 12	+ 30	+ 51
min........	0	— 106	— 60	— 29	— 19	— 7	+ 11	+ 32
80 à 120								
max........	+ 35	— 72	— 36	— 12	0	+ 13	+ 35	+ 59
min........	0	— 126	— 71	— 34	— 22	— 9	+ 13	+ 37

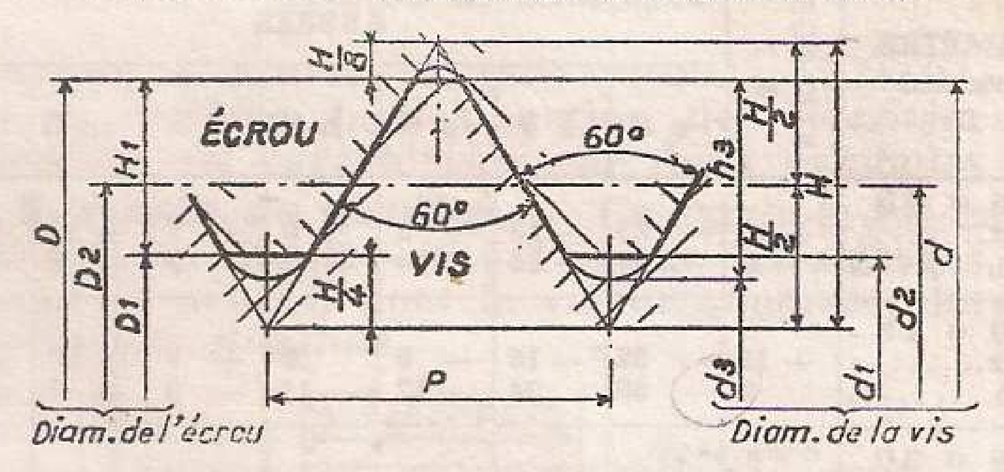
GROUPE H 6 — GROUPE H 8

DIAMÈTRE nominal — D —	ALÉSAGE H 6	ARBRES			ALÉSAGE H 8	ARBRES		
		g 5	h 5	j 5		e 9	f 8	h 7
6 à 10								
max........	+ 9	— 5	0	+ 4	+ 22	— 25	— 13	0
min........	0	— 11	— 6	— 2	0	— 61	— 35	— 15
10 à 18								
max........	+ 11	— 6	0	+ 5	+ 27	— 32	— 16	0
min........	0	— 14	— 8	— 3	0	— 75	— 43	— 18
18 à 30								
max........	+ 13	— 7	0	+ 5	+ 33	— 40	— 20	0
min........	0	— 16	— 9	— 4	0	— 92	— 53	— 21
30 à 50								
max........	+ 16	— 9	0	+ 6	+ 39	— 50	— 25	0
min........	0	— 20	— 11	— 5	0	— 112	— 64	— 25
50 à 80								
max........	+ 19	— 10	0	+ 6	+ 46	— 60	— 30	0
min........	0	— 23	— 13	— 7	0	— 134	— 76	— 30

FILETAGES MÉTRIQUES

A FILET TRIANGULAIRE

PROFIL ISO (remplaçant le profil S.I.)



Le profil ISO (NF E 03-001), défini par la figure ci-dessus, est un triangle équilatéral de côté égal au pas, et ayant sa base parallèle à l'axe du filetage.

Désignation : Les filetages sont désignés par le symbole M, suivi du diamètre et du pas, séparés par le signe de la multiplication.

VALEUR DES ÉLÉMENTS DU PROFIL ISO

$D = d$ = diamètre nominal P = pas.

H = Hauteur théorique du filet = 0,866 P.

Diamètre sur flancs :

$$D_2 = d_2 = d - \frac{3}{4} H = d - 0{,}6495 \text{ P.}$$

Diamètre intérieur de l'écrou :

$$D_1 = d_1 = d_2 - 2\left(\frac{H}{2} - \frac{H}{4}\right) = d - 1{,}0825 \text{ P}$$

Diamètre du noyau de la vis :

$$d_3 = d_2 - 2\left(\frac{H}{2} - \frac{H}{6}\right) = d - 1{,}2268 \text{ P.}$$

Hauteur du filet en contact :

$$H_1 = \frac{D - D_1}{2} = 0{,}5412 \text{ P.}$$

Hauteur du filet de la vis :

$$h_3 = \frac{d - d_3}{2} = 0{,}6134 \text{ P.}$$

— La valeur indiquée ci-dessus pour le diamètre

d_3 de la vis, correspond à une troncature H/6 du triangle générateur, permettant l'exécution d'un arrondi de rayon égal à H/6.

REMARQUE. — Se substituant à l'ancien profil S.I., le profil ISO n'en diffère que par l'augmentation de la troncature de diamètre D_1.

PROFIL ISO. — TABLEAU DE VALEURS CALCULÉES CORRESPONDANTES

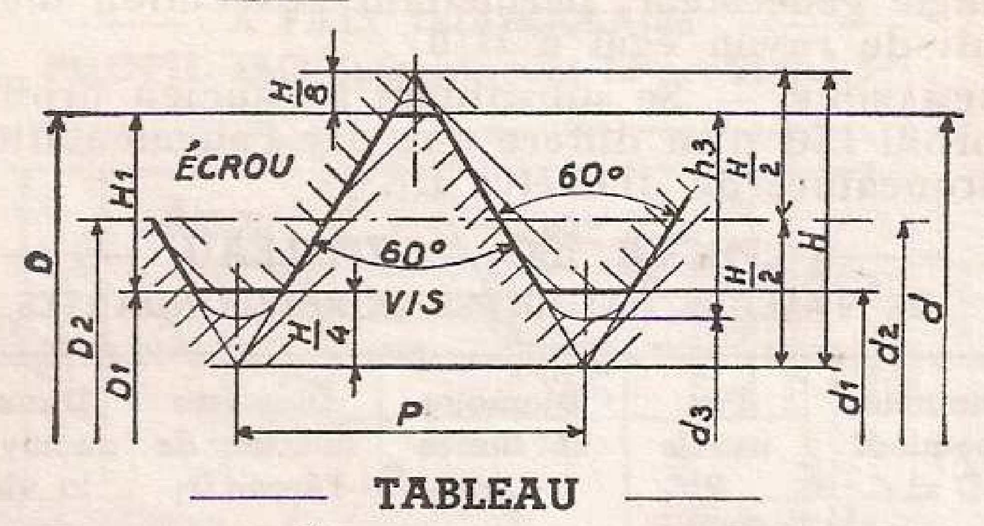
Diamètre nominal $D = d$	Pas usuels P	Diamètre sur flancs $D_2 = d_2$	Diamètre intérieur de l'écrou D_1	Diamètre du noyau de la vis d_3
3	0,5	2,675	2,459	2,387
4	0,7	3,545	3,242	3,141
5	0,8	4,480	4,134	4,019
6	1	5,350	4,918	4,773
8	1,25	7,188	6,647	6,466
10	1,5	9,026	8,376	8,160
12	1,75	10,863	10,106	9,853
14	2	12,701	11,835	11,546
16	2	14,701	13,835	13,546
18	2,5	16,376	15,294	14,933
20	2,5	18,376	17,294	16,933
22	2,5	20,376	19,294	18,933
24	3	22,051	20,752	20,319
27	3	25,051	23,752	23,319
30	3,5	27,727	26,211	25,706

QUELQUES pas fins au profil ISO (*à titre indicatif*)

0,25 - 0,35 - 0,5 - 0,75
1 - 1,25 - 1,5 - 2 - 3

(Extrait des NF E 03-001 et E 03-013)

Filetages. — PROFIL ISO (suite)



TABLEAU

DE DIAMÈTRES ET DE PAS USUELS

(Extrait de NF E 03-013)

Dimensions en millimètres **Diamètres 3 à 48**

Diamèire nominal			Pas mm	Diamètre nominal			Pas mm
Col. 1	Col. 2	Col. 3		Col. 1	Col. 2	Col. 3	
3			0,5		18		2,5
	3,5		0,6	20			2,5
4			0,7		22		2,5
	4,5		0,75	24			3
5			0,8			25	
		5,5			27		3
6			1			28	
		7	1	30			3,5
8			1,25			32	
		9	1,25		33		3,5
10			1,5			35	
		11	1,5	36			4
12			1,75		39		4
	14		2			40	
		15		42			4,5
16			2		45		4,5
		17		48			5

DIAMETRES : choisir de préférence les diamètres de la 1re colonne, puis ceux de la 2e, enfin ceux de la 3e.

FILET TRAPÉZOÏDAL (normalisé)

(Norme E-03-002)

Forme du filet. — Un trapèze isocèle dont l'angle au sommet est de 30°.

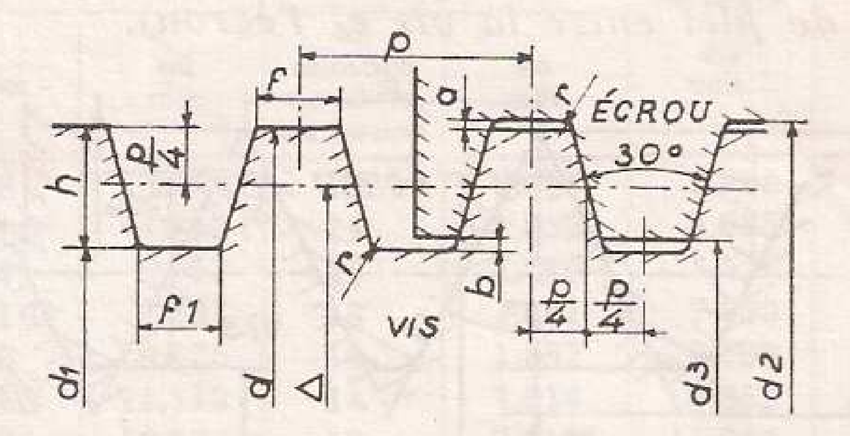


TABLEAU du filetage trapézoïdal normalisé

(Dimensions en mm)

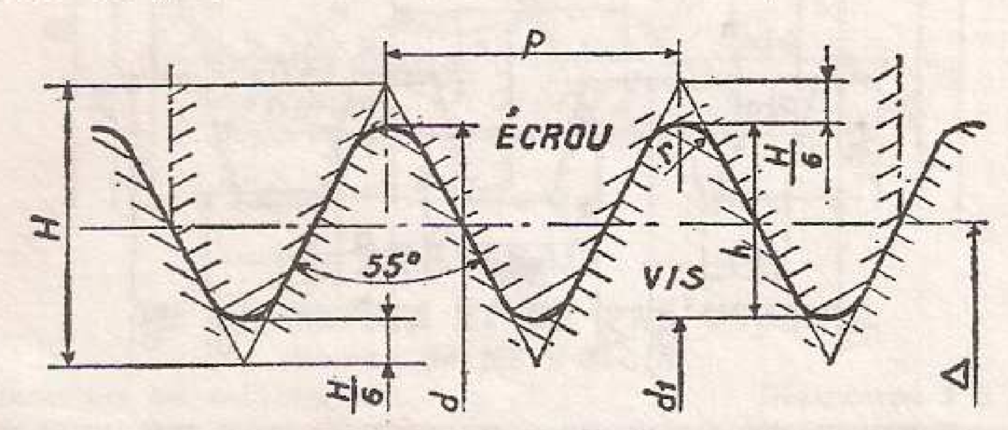
p	h	f environ	f_1 environ	Δ	d_1	d_2	d_3
2	1,20	0,73	0,62	d—1	d— 2,4	d+0,4	d— 1,8
3	1,75	1,10	0,96	d—1,5	d— 3,5	d+0,5	d— 2,5
4	2,25	1,46	1,33	d—2	d— 4,5	d+0,5	d— 3,5
5	2,75	1,83	1,70	d—2,5	d— 5,5	d+0,5	d— 4
6	3,25	2,20	2,06	d—3	d— 6,5	d+0,5	d— 5
8	4,25	2,93	2,79	d—4	d— 8,5	d+0,5	d— 7
10	5,25	3,66	3,53	d—5	d—10,5	d+0,5	d— 9
12	6,25	4,39	4,26	d—6	d—12,5	d+0,5	d—11
16	8,50	5,86	5,59	d—8	d—17	d+1	d—14
20	10,50	7,32	7,08	d—10	d—21	d+1	d—18

p	a	b	r	p	a	b	r
2	0,20	0,30	0,20	8	0,25	0,75	0,25
3	0,25	0,50	0,25	10	0,25	0,75	0,25
4	0,25	0,50	0,25	12	0,25	0,75	0,25
5	0,25	0,75	0,25	16	0,50	1,50	0,50
6	0,25	0,75	0,25	20	0,50	1,50	0,50

— Le filet trapézoïdal normalisé s'emploie pour les vis-mère de tours, les vis de commande des chariots de machines-outils, les vis à plusieurs filets...

Forme du filet. — Un triangle isocèle dont l'angle au sommet est de 55°.

Le filet est tronqué au sommet et à la base de 1/6 de sa hauteur par des rayons. — *Aucun jeu n'existe à fond de filet entre la vis et l'écrou).*



Une vis système " Whitworth " est déterminée par le diamètre extérieur *d* exprimé en pouces ou fractions de pouce et par le pas *p* exprimé par le nombre de filets contenus dans un pouce.

$$p = \frac{1 \text{ pouce}}{\text{nombre de filets}}$$

$$\text{ou } \frac{1'' \,(\textit{pouce})}{n} = \frac{\mathbf{25{,}4}}{n}$$

VALEUR DES ÉLÉMENTS EN FONCTION DE d ET p

— Hauteur du triangle générateur H :

$$H = \text{cotg}\,\frac{55°}{2} \times \frac{p}{2} = 1{,}9209\,\frac{p}{2} = \mathbf{0{,}9605}\,p.$$

— Profondeur du filet h :

$$h = H - 2\left(\frac{1}{6}H\right) = \frac{2}{3}H = \frac{2}{3} \times 0{,}96\,p = \mathbf{0{,}64}\,p.$$

— Diamètre d_1 du noyau de la vis qui est aussi le diamètre d'alésage de l'écrou :

$$d_1 = d - 2\,h = d - 2 \times 0{,}64\,p = d - \mathbf{1{,}28}\,p$$

— Diamètre à flancs de filets Δ ou diamètre moyen *dm* :

$$dm = d - \mathbf{0{,}6403}\,p \cong d - 0{,}64\,p.$$

r : rayon des troncatures = $\mathbf{0{,}137}\,p$.

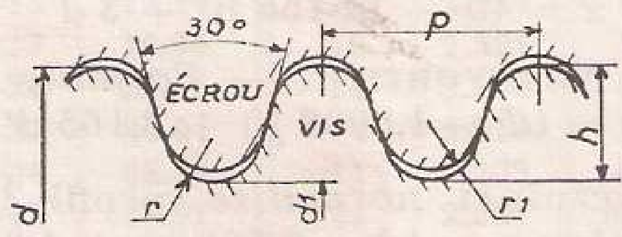
Le tableau page ci-contre donne les diamètres et les pas correspondants de la *série courante*.

TABLEAU du filetage WHITWORTH

Série courante B.S.W. *de 3/16 à 2"*

Diamètre nominal *d* en pouces	Diamètre nominal *d* en mm	Pas *p* en nombre de filets au pouce	Pas *p* en mm	Diamètre à flancs de filets en mm Δ	Diamètre de noyau en mm d_1
1/8	3,175	40	0,635	2,768	2,362
3/16	4,762	24	1,058	4,085	3,406
1/4	6,350	20	1,270	5,537	4,724
5/16	7,937	18	1,411	7,033	6,129
3/8	9,525	16	1,587	8,509	7,493
7/16	11,112	14	1,814	9,952	8,791
1/2	12,700	12	2,117	11,344	9,987
9/16	14,287	12	2,117	12,931	11,575
5/8	15,875	11	2,309	14,937	12,918
11/16	17,462	11	2,309	15,984	14,506
3/4	19,050	10	2,540	17,425	15,799
7/8	22,225	9	2,822	20,419	18,613
1"	25,400	8	3,175	23,368	21,336
1" 1/8	28,575	7	3,629	26,251	23,927
1" 1/4	31,750	7	3,629	29,426	27,102
1" 1/2	38,100	6	4,233	35,390	32,680
1" 3/4	44,450	5	5,080	41,197	37,943
2"	50,800	4,5	5,644	47,186	43,571
2" 1/4	57,150	4	6,350	53,083	49,017
2" 1/2	63,500	4	6,350	59,433	55,367
2" 3/4	69,850	3,5	7,257	65,202	60,554
3"	76,200	3,5	7,257	71,552	66,904

FILET ROND (normalisé)



d : diamètre nominal. *p* : pas en mm;

h : hauteur des filets $= \frac{p}{2} + 0{,}05\,p$;

d_1: diamètre d'alésage de l'écrou $= d - 0{,}9\,p$;

Rayons $r = 0{,}25\,p$ (environ).

— Ce système de filet, est utilisé pour l'assemblage de mécanismes, susceptibles de recevoir des chocs.

MESURE du diamètre à flancs de filets

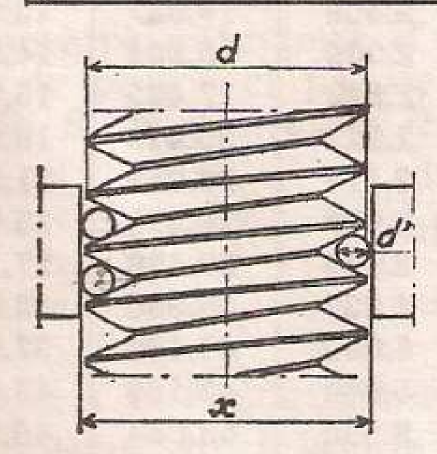
— Le diamètre moyen d_m d'un filetage triangulaire de précision, est mesuré :

I. A l'aide d'un micromètre *à filets de vis.* —

Application. — Si d est le diamètre nominal de la vis, d_m le diamètre moyen à flancs de filet, et p le pas, on a :

$d_m = d - 0{,}6495\ p$	profil du filet à 60°.
$d_m = d - 0{,}6403\ p$	profil du filet à 55°.

II. Par la méthode des piges (*fig. ci-dessous*). —



La vérification précise du diamètre des flancs de filets nécessite l'emploi de trois piges cylindriques calibrées, disposées dans les filets des vis comme l'indique la figure ci-contre et en rapport avec le pas de celles-ci.

Profil (angle 60°). — Connaissant le diamètre nominal d, le pas p du filetage et le diamètre d' des piges, on trouve la cote x en appliquant la formule suivante :

$$x = (d - 1{,}5155\ p) + 3\ d'$$

Système " Whitworth ". — *Formule utilisée :*

$$x = (d - 1{,}6008\ p) + 3{,}165\ d'$$

Filet trapézoïdal *normalisé* (profil 30°)

Formule : $x = (d - 2{,}366\ p) + 4{,}864\ d'$

Diamètre d' (*théorique*) des piges. — Pour le profil des filets (*angle 60°*), il est égal au diamètre du cercle inscrit du triangle équilatéral :

$$d' = \frac{p\sqrt{3}}{3} = 0{,}5773\ p$$

FILETAGES sur tubes à gaz

Profil du filet : Whitworth (*page* 58)

CAS D'EMPLOI :

I. Sans étanchéité *dans le filet* :

Assemblage d'un filetage extérieur cylindrique avec un taraudage ou filetage intérieur cylindrique.

II. Avec étanchéité *dans le filet* :

Assemblage d'un filetage extérieur conique (*conicité* 6,25 %), avec un taraudage ou filetage intérieur cylindrique (la bissectrice de l'angle du filet est perpendiculaire à l'axe du cône).

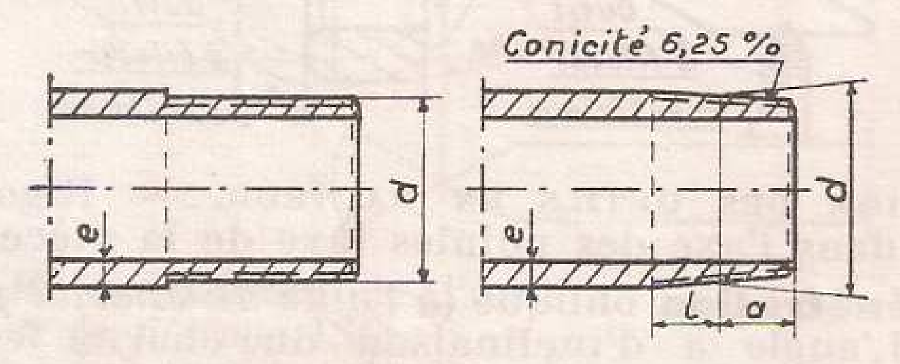


TABLEAU de dimensions

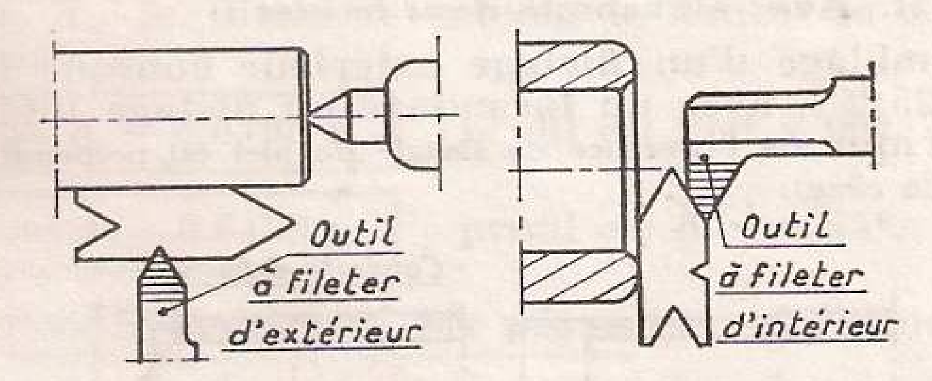
Dénomination des tubes en pouces	Dénomination des tubes en mm	Diamètre de filetage d en mm	Nombre de filets au pouce	Pas en mm	FILETAGE extérieur conique: Longueur de jauge a min.	Longueur de jauge a max.	l min.
1/4	8-13	13,16	19	1,337	4,7	7,3	3,7
3/8	12-17	16,66	19	1,337	5,1	7,7	3,7
1/2	15-21	20,95	14	1,814	6,4	10	5
3/4	21-27	26,44	14	1,814	7,7	11,3	5
1″	26-34	33,25	11	2,309	8,1	12,7	6,4
1″ 1/4	33-42	41,91	11	2,309	10,4	15	6,4
1″ 1/2	40-49	47,80	11	2,309	10,4	15	6,4
2″	50-60	59,61	11	2,309	13,6	18,2	7,5
2″ 1/2	66-76	75-18	11	2,309	14,0	21	9,2
3″	80-90	87,88	11	2,309	17,1	24,1	9,2
3″ 1/2	90-102	100,33	11	2,309	18,7	25,7	9,2
4″	102-114	113,03	11	2,309	21,9	28,9	10,4

(Extraits de PN E 03-004 et PN E 03-005)

PRATIQUE
DU FILETAGE TRIANGULAIRE

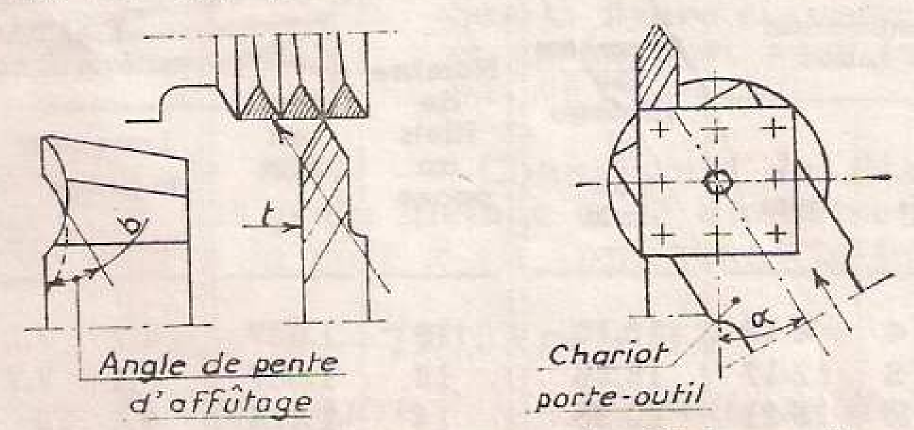
PÉNÉTRATION DES OUTILS

I. Pénétration normale (*fig. ci-dessous*). — L'orientation des outils et l'angle d'affûtage de leur profil *60°* ou *55°* — sont réalisés à l'aide de calibres d'angle.



Position des outils en hauteur. — Rigoureusement dans l'axe des pointes (axe de la pièce).

II. Pénétration oblique (*à l'aide du chariot porte-outil*). L'angle α d'inclinaison du chariot est de 30° (*de l'axe transversal*) pour le filet au profil ISO et de 27° 30′ pour le filet Whitworth.



— Ce procédé, employé pour le filetage des aciers, réalise le travail de l'outil sur un seul flanc (*l'outil à fileter n'ayant qu'une arête tranchante t*).

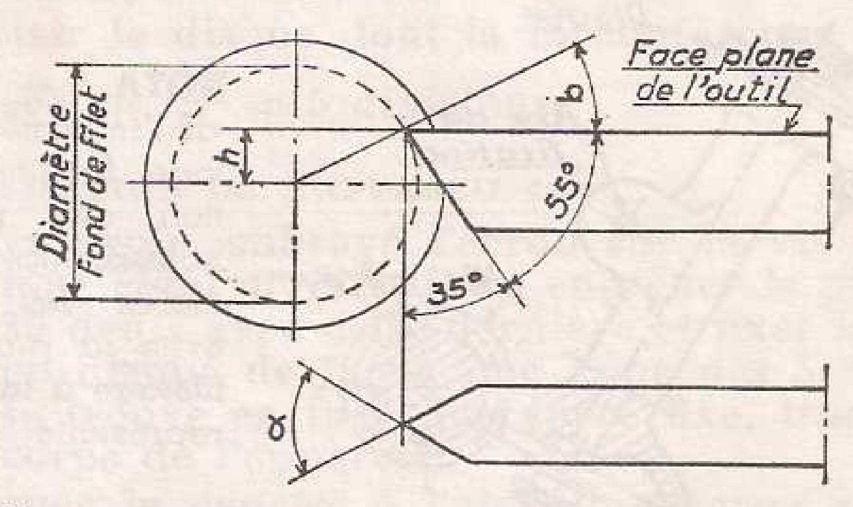
Le filet ainsi taillé permet d'augmenter la *vitesse de coupe* et la *profondeur de passe*, mais la surface du flanc opposé à l'arête tranchante, formée par la descente de l'outil, reste *rugueuse*.

Pour éviter ce défaut d'exécution, il est *d'usage* d'orienter la glissière du chariot porte-outil d'un angle α supérieur de 2 degrés.

III. Pénétration au-dessus de l'axe :

Ce procédé (*fig. ci -dessous*), employé pour le filetage des aciers, consiste à placer la face supérieure (face plane) de l'outil au-dessus de l'axe des pointes, d'une hauteur h pratiquement égale à :

$$h = \frac{\textit{Diamètre fond de filet}}{4}$$. Dans cette position, la valeur de l'angle de pente b est de 30°.



Profil angulaire de l'outil :

— *Pour le filetage* ISO :
Valeur moyenne de l'angle α : environ 55°.

— *Pour les filetages Whitworth :*
Valeur moyenne de l'angle α : environ 50° 30′.

— **Par le procédé de filetage au-dessus de l'axe (employé pour l'ébauche de pièces filetées ou l'exécution des filetages courants qui n'exigent pas une *grande précision*), les filets sont formés plus rapidement et sans arrachement du métal.**

Outils à fileter. — *Calcul de l'angle d'inclinaison :*

L'angle d'inclinaison des outils, basé sur le diamètre moyen du filetage, est déterminé à l'aide de la formule :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{P}{\pi\, dm} \text{ dans laquelle :}$$

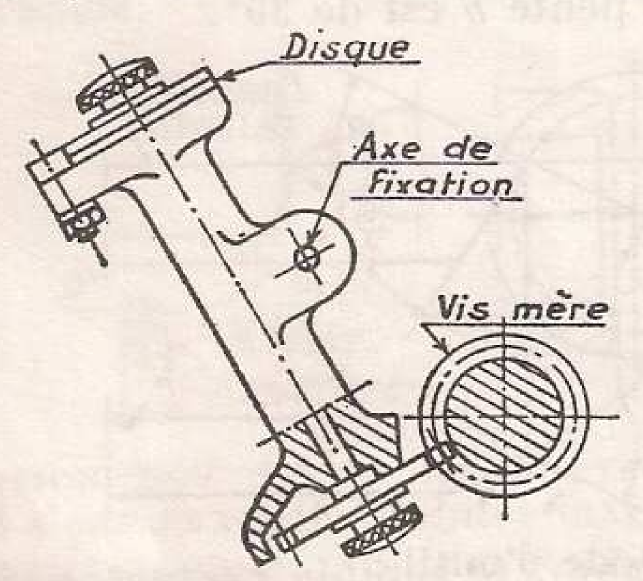
$\pi = 3{,}1416$ P, le pas dm = diamètre moyen

Le diamètre moyen est obtenu en divisant par 2 la somme des diamètres extérieur et fond de filet.

N. B. — Ajouter en plus la dépouille normale (4 à 5°), nécessaire pour le travail de l'outil.

APPAREIL INDICATEUR D'EMBRAYAGE

— Utilisé sur la plupart des tours modernes, cet appareil (*fig. ci-dessous*), donnant la position relative des trois éléments : BROCHE, VIS MÈRE ET CHARIOT-TRAINARD, permet de compter les *tours de vis mère* et évite les erreurs d'embrayage.



NOTA. — L'emploi de l'indicateur de filetage facilite l'exécution des **pas** non sous-multiples des vis mères des tours et évite la pratique du **filetage à la longueur** représenté page 66.

DESCRIPTION SOMMAIRE. — La partie supérieure de l'indicateur porte un *cadran* ou disque gradué en parties égales. Ce dernier est monté sur l'axe de l'appareil qui porte, à sa partie inférieure, un pignon maintenu en prise avec la vis mère.

NOTA. — L'appareil comporte généralement plusieurs pignons et disques correspondants, interchangeables.

APPLICATIONS NUMÉRIQUES

POUR APPAREIL DISPOSANT DES PIGNONS DE 33, 35 ET 36 DENTS ET DE DISQUES DONT LA CIRCONFÉRENCE EST DIVISÉE EN 3, 5, 7, 9, 12 PARTIES ÉGALES

EXEMPLE. — *Pas* . . . . { à exécuter : $p = 1,75$ mm ; de la vis mère : $P = 6$ mm

1° CALCUL PRÉALABLE :

On pose : $\frac{p}{P} = \frac{1,75}{6} = \frac{175}{600} = \frac{7}{24}$

Le numérateur de la fraction simplifiée indique que, tous les *7 tours de la vis mère*, cette dernière et la vis à exécuter sont dans la même position rela-

(Suite)

tive, c'est-à-dire celle où l'outil retombe dans le filet quel que soit, sur le banc, l'emplacement du chariot-traînard.

2° Réglage de l'appareil :

a) Choisir, parmi les pignons, celui dont le nombre de dents est multiple de 7 tours — soit 35 dents;

b) Choisir le disque dont la circonférence est divisée en $\frac{35}{7} = 5$ divisions.

3° Utilisation de l'appareil :

a) Après avoir embrayé l'écrou sur la vis mère (*le tour étant arrêté*), faire engrener le pignon de 35 dents avec cette dernière et fixer le cadran ou disque de façon que l'une des 5 divisions se trouve en face du repère fixe, tracé sur le corps de l'appareil;

b) Bloquer le cadran à l'aide de l'écrou supérieur moleté — Fileter — Débrayer l'écrou de la vis mère et ramener le chariot-traînard à la main;

c) Pendant la durée du filetage et sans arrêter le tour, on peut embrayer en marche lorsque l'un quelconque des traits de la graduation choisie passe devant le repère.

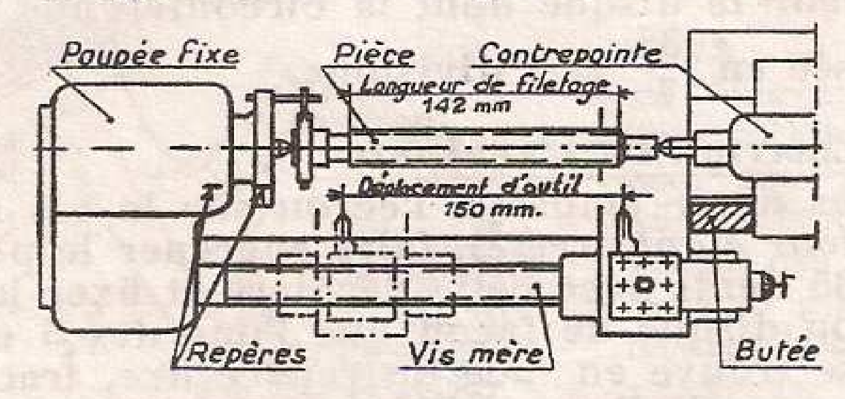
TABLEAU D'UTILISATION POUR VIS MÈRE
normalisée au pas de 6 mm

PAS à exécuter mm	Nombre de dents du pignon	Nombre de divisions du cadran	PAS à exécuter mm	Nombre de dents du pignon	Nombre de divisions du cadran
1	—	—	2	—	—
1,25	35	7	2,5	35	7
1,5	—	—	3	—	—
1,75	35	5	3,5	35	5

Division du pas (*cas d'une vis à plusieurs filets*). — Le nombre de tours minimum de la vis mère doit être égal ou multiple du nombre de filets à exécuter.

FILETAGE *A LA LONGUEUR*

Principe. — Ce procédé (*employé à défaut d'indicateur de filetage*) consiste, après avoir cherché le PLUS PETIT COMMUN MULTIPLE (P.P.C.M.) de deux nombres (PAS *de la vis à construire et* PAS *de la vis mère du tour*), à utiliser une longueur de déplacement d'outil *supérieure* à la longueur de la partie à fileter et égale à un multiple exact du P.P.C.M.



— APPLICATION DE L'EXEMPLE —
donné par Rappel arithmétique (page 4)

Filetage d'une vis au pas de 2,5 mm sur un tour ayant une vis mère au pas de 6 mm.

Longueur de filetage à utiliser : 142 mm.

P. P. C. M. de 2,5 et 6 = 30

Pour déterminer la distance *d* à laquelle nous devons placer la butée fixe, il suffit de choisir un multiple de 30, *supérieur* à 142 mm, soit par exemple $d = 30 \times 5 = 150$ mm.

EXECUTION DU FILETAGE. — La butée étant fixée sur le banc du tour, effectuer la première passe et arrêter la broche du tour lorsque la pointe de l'outil à fileter occupe la position extrême du filetage. — Marquer un repère *(à la craie)* sur le plateau, en regard d'un autre repère marqué sur la poupée fixe. — Débrayer l'écrou de la vis mère, puis ramener le traînard à la main en contact avec la butée. — Quand les repères reviennent en regard l'un de l'autre, embrayer à nouveau l'écrou de la vis mère pour l'exécution d'une nouvelle passe *et ainsi de suite*.

VIS MÈRE AU PAS DE 6 mm. — *Pas sous-multiples :*
0,75 — 1 — 1,5 — 2 — 3 — 6 mm

— TABLEAU DE CONVERSION —

des fractions de pouce en mesures métriques

1″ *(pouce)* VALEUR PRATIQUE = 25,4 mm (normalisé)

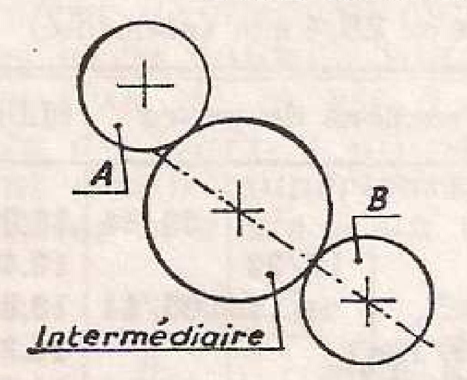
Fractions de pouce			Millim.	Fractions de pouce			Millim.
		1/64	0,396			33/64	13,096
	1/32		0,793		17/32		13,493
		3/64	1,190			35/64	13,890
1/16			1,587	9/16			14,287
		5/64	1,984			37/64	14,684
	3/32		2,381		19/32		15,081
		7/64	2,778			39/64	15,478
1/8			3,175	5/8			15,875
		9/64	3,571			41/64	16,271
	5/32		3,969		21/32		16,668
		11/64	4,365			43/64	17,065
3/16			4,762	11/16			17,462
		13/64	5,159			45/64	17,859
	7/32		5,556		23/32		18,256
		15/64	5,953			47/64	18,653
1/4			6,35	3/4			19,05
		17/64	6,746			49/64	19,446
	9/32		7,143		25/32		19,843
		19/64	7,540			51/64	20,240
5/16			7,937	13/16			20,637
		21/64	8,334			53/64	21,034
	11/32		8,731		27/32		21,431
		23/64	9,128			55/64	21,828
3/8			9,525	7/8			22,225
		25/64	9,921			57/64	22,621
	13/32		10,318		29/32		23,018
		27/64	10,715			59/64	23,415
7/16			11,112	15/16			23,812
		29/64	11,509			61/64	24,209
	15/32		11,906		31/32		24,606
		31/64	12,303			63/64	25,003
1/2″			12,7	1″			25,4

Conversion de pouces en millimètres :

2″=50,8 mm	4″=101,6 mm	6″=152,4 mm	8″=203,2 mm
3″=76,2 mm	5″=127 mm	7″=177,8 mm	9″=226,6 mm

TOURS PARALLÈLES

POSSÉDANT UNE BOITE DE FILETAGES



La commande des éléments de la boîte est généralement assurée suivant le schéma ci-contre (soit par trois roues, soit par quatre roues).

Roues de remplacement (*série de roues qui accompagnent le tour*). — Le changement de roue en A ou en B (*fig. ci-dessus*) donne de nouveaux rapports et transforme la valeur des *pas* inscrits sur le tableau de filetage.

RÉALISATION D'UN PAS non inscrit sur le tableau

I. Neutralisation des éléments de la boîte.
— Pour *neutraliser* le mécanisme de la boîte de filetages, placer leviers et baladeur dans une position correspondant à un *pas* égal à celui de la vis mère du tour.

Calcul des roues de remplacement :

Exemple. — *Pas*.... { à exécuter : $p = 2{,}4$ mm ; de la vis mère : $P = 6$ mm

nous aurons :

$$\frac{A}{B} = \frac{p}{P} = \frac{2{,}4}{6} = \frac{24}{60}$$

Vérification : $\dfrac{\text{Roue A} \times P}{\text{Roue B}} = \dfrac{24 \times 6}{60} = \mathbf{2{,}4}\ \text{mm} = p$

REMARQUE. — Le nombre des roues de remplacement, très limité, ne permet que d'effectuer des montages à deux roues avec intermédiaire.

II. Utilisation des éléments (boîte et roues).

Principe. — Choisir sur le tableau indicateur un pas P′ (considéré comme *nouveau pas de vis mère*) se rapprochant du pas p à réaliser; ensuite, placer

leviers et baladeur dans une *position* correspondant à ce cas P'.

EXEMPLE. — *Pas* $\left\{\begin{array}{l}\text{à exécuter : } p = 1{,}66... \\ \text{fictif : } P' = 2 \text{ mm (position leviers).}\end{array}\right.$

CALCUL PRÉALABLE :

$$\begin{array}{rl} 10 \text{ pas} = & 16{,}6 \\ -\ 1 \text{ pas} = & 1{,}6 \\ \hline = 9 \text{ pas} & 15 \end{array} \qquad p = \frac{15}{9} = \frac{5}{3}$$

nous aurons :

$$\frac{A}{B} = \frac{p}{P'} = \frac{\frac{5}{3}}{2} = \frac{5}{6} = \frac{50}{60}$$

Vérification : $\dfrac{\text{Roue A} \times P'}{\text{Roue B}} = \dfrac{50 \times 2}{60} = \mathbf{1{,}66} = p$

CALCULS
de détermination des roues dentées
applicables dans l'équipement de différentes machines-outils

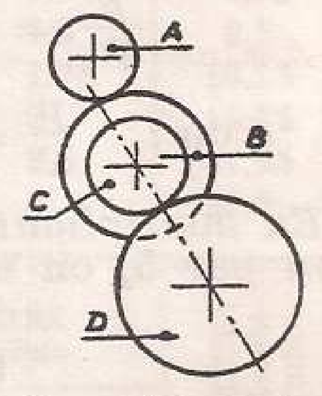
APPLICATION. — Cas d'un tour *non muni d'une boite de filetages.*

— Le montage à quatre roues (fig. ci-dessous) se compose :

1° D'une roue A (*menante*) calée sur l'axe de la broche;

2° D'une roue B (*menée*) et d'une roue C (*menante*) calées sur l'axe intermédiaire;

3° D'une roue D (*menée*) calée sur l'axe de la vis mère.



Calcul des roues. — PRINCIPE : On réduit à sa plus simple expression la fraction exprimant le pas p à exécuter par rapport au pas P de la vis mère, puis on multiplie les deux termes de cette fraction en prenant pour valeurs des nombres appropriés, permettant d'utiliser des roues de la série qui accompagnent le tour.

NOTA. — *Les numérateurs des fractions indiquent les roues menantes, les dénominateurs les roues menées.*

I. — Filetage d'un pas S.I. sur un tour ayant une vis mère au pas métrique.

EXEMPLE. — *Pas....* { à exécuter : $p = 1{,}25$ / de la vis mère : $P = 6$ mm

$$\frac{p}{P} = \frac{1{,}25}{6} = \frac{12{,}5}{60} = \frac{25}{120} = \frac{5 \times 5}{8 \times 15}$$

En multipliant chaque terme de la première fraction par 5 et chaque terme de la deuxième fraction par 4, on a : $\frac{25 \times 20}{40 \times 60} = \frac{A \times C}{B \times D}$

Vérification : $\frac{25 \times 20 \times 6}{40 \times 60}$ = **1,25** mm = p

II. — Filetage d'un pas « Whitworth » sur un tour ayant une vis mère au pas métrique.

EXEMPLE. — *Pas* { à exécuter : $p = 8$ filets au pouce. / de la vis mère : $P = 6$ mm.

$$p = \frac{25{,}4}{8} = 3{,}175 \text{ mm}$$

Utilisation du rapport $\frac{\mathbf{1650}}{\mathbf{65}} = \frac{30 \times 55}{65}$

$$\frac{p}{P} = \frac{\frac{30 \times 55}{65 \times 8}}{6} = \frac{55 \times 30}{65 \times 8} \times \frac{1}{6}$$

d'où : $\frac{p}{P} = \frac{55 \times 30}{65 \times 48} = \frac{55 \times 5}{65 \times 8}$

En multipliant chaque terme de la deuxième fraction par 5, on a :

$$\frac{55 \times 25}{65 \times 40} = \frac{A \times C}{B \times D}$$

Vérification : $\frac{55 \times 25 \times 6}{65 \times 40}$ = **3,174** = p

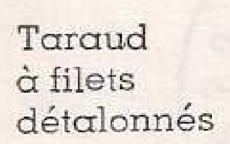
III. — Pas au module (*fonction de* π). — Soit à fileter le pas $4\,\pi$ (12,56 mm) sur un tour à vis mère de 6 mm. *Utilisation du rapport* $\frac{22}{7} = 3.1428$:

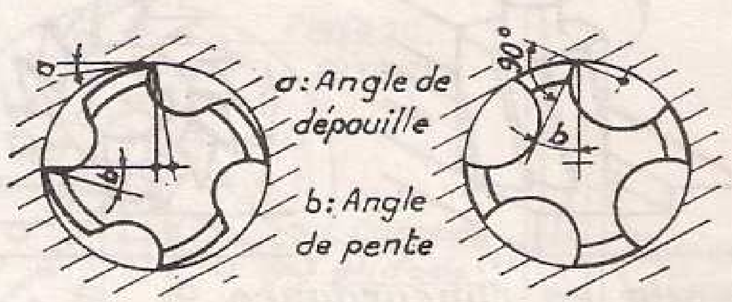
$$\frac{22 \times 4}{7 \times 6} = \frac{88}{42} = \frac{44}{21} = \frac{4 \times 11}{3 \times 7} = \frac{40\,A \times 55\,C}{30\,B \times 35\,D}$$

TARAUDAGE

AVANT-TROUS DE TARAUDAGE. — Suivant la nature du métal à tarauder, le diamètre D du foret est : D — (1 *p* à 1,15 *p*). — Pour les travaux de taraudage courants dans l'acier, la valeur du diamètre D est : D — *p* (*pas du taraudage*).

REMARQUE. — Une fraisure conique à l'entrée de l'avant-trou évite la formation d'une bavure et facilite la mise en place du taraud.





Taraud à filets concentriques

PAS (PROFIL ISO)

DIAMÈTRE nominal en mm	PAS en mm	DIAMÈTRE des forets en mm	DIAMÈTRE nominal en mm	PAS en mm	DIAMÈTRE des forets en mm
2	0,4	1,6	8	1,25	6,75
2,5	0,45	2,1	10	1,5	8,5
3	0,5	2,4	12	1,75	10,25
4	0,7	3,3	16	2	13,75
5	0,8	4,2	20	2,5	17,25
6	1	5	24	3	20,5

PAS (SYSTÈME WHITWORTH)

DIAMÈTRE des tarauds		DIAMÈTRE des forets en mm	DIAMÈTRE des tarauds		DIAMÈTRE des forets en mm
Fractions de pouce	en mm		Fractions de pouce	en mm	
1/8	3,175	2,5	3/8	9,524	7,8
5/32	3,969	3,2	7/16	11,112	9
3/16	4,762	3,7	1/2	12,70	10,5
7/32	5,556	4,5	9/16	14,287	12
1/4	6,35	4,9	5/8	15,874	13,5
5/16	7,937	6,5	11/16	17,462	15

LUBRIFIANTS EMPLOYÉS : huile, pétrole, suif.

LE FRAISAGE

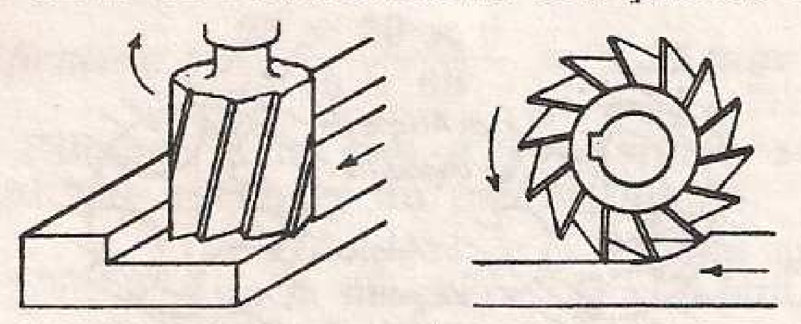
Classification des machines à fraiser

D'après la position de leur broche porte-fraise, ces machines-outils sont classées en trois catégories :

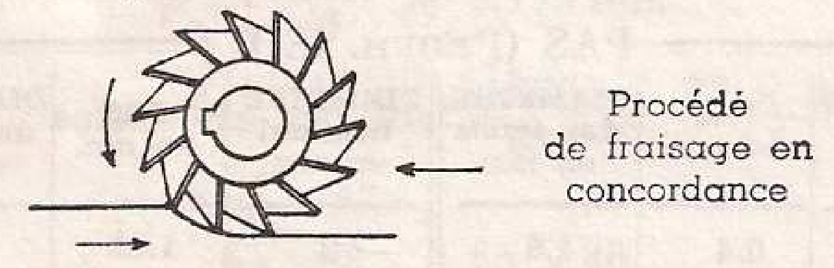
1° FRAISEUSES *verticales*	2° FRAISEUSES *horizontales*	3° FRAISEUSES *universelles*

FRAISAGE. — Mode d'action des outils :

1° Fraisage *en opposition.* — Les figures ci-dessous indiquent le SENS NORMAL de rotation des fraises et le SENS de l'avancement des pièces à fraiser.



2° Fraisage *en concordance.*



REMARQUE. — Ce procédé de fraisage ne peut être exécuté que sur des fraiseuses spéciales à commande hydraulique, ou, pour une faible passe de finition, **sur des fraiseuses ordinaires.**

EMPLOI DES POUPÉES DIVISEUR A VIS SANS FIN ET UNIVERSELLES

Ces appareils permettent l'exécution de tous travaux de *division simple et différentielle,* ainsi que de *taillage droit et hélicoïdal,* car ils peuvent recevoir un montage de roues amovibles (*voir fig., page 83*) permettant de relier leur broche à la vis de la table de la fraiseuse sur laquelle ils sont montés.

Fonctionnement. — Le rapport de la vis sans fin à la roue hélicoïdale est de $\frac{1}{40}$ ou $\frac{1}{60}$, ce qui donne 9° et 6° par tour.

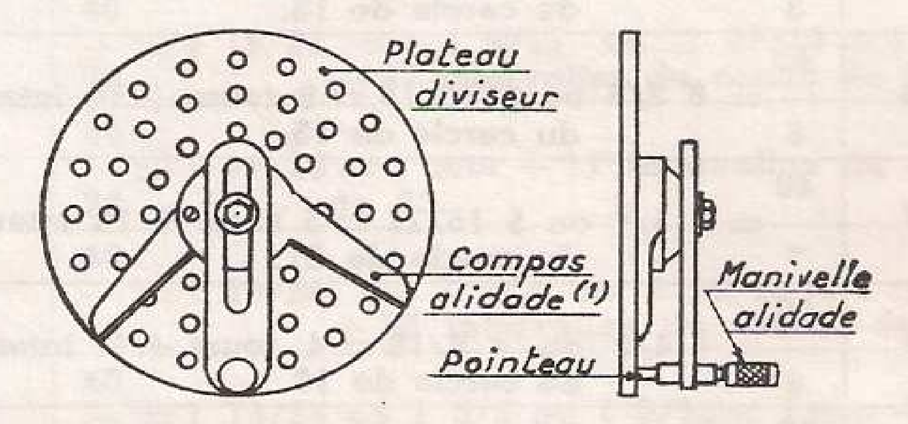
PROCÉDÉS DE DIVISION CIRCULAIRE

Division simple. — EXEMPLE : Emploi d'un *diviseur au rapport 1/40* et de trois plateaux normaux, comprenant les cercles de trous suivants :

Plateau n° 1 :
Cercles de 15, 16, 17, 18, 19 et 20 trous.

Plateau n° 2 :
Cercles de 21, 23, 25, 27, 29, 31 et 33 trous.

Plateau n° 3 :
Cercles de 37, 39, 41, 43, 47 et 49 trous.



(1) **Le compas alidade, appelé aussi « fourchette », comprend deux réglettes radiales pouvant être mises à l'écartement imposé par la division.**

APPLICATIONS. — **I.** Soit à diviser une pièce en Z = 5 parties égales :

$$\frac{R}{Z} = \frac{\text{Rapport du diviseur}}{\text{Division à exécuter}}$$

$$\frac{40}{Z} = \frac{40}{5} = \frac{1}{8} = 8 \text{ tours}$$

donc, pour une division, faire 8 tours de manivelle et engager le pointeau dans le trou de départ de l'un quelconque des disques.

II. Soit à exécuter un hexagone (*6 pans*) :

$$\frac{R}{Z} = \frac{40}{6} = \frac{20}{3} = 6 + \frac{2}{3} = 6 + \frac{10}{15}$$

Utiliser le cercle de 15 trous du disque n° 1. Pour passer d'un pan à l'autre, faire tourner la manivelle-pointeau de 6 tours plus 10 *intervalles* sur ce cercle.

Au-delà de la division 40 (rapport du diviseur), le déplacement de la manivelle est inférieur à 1 tour.

DIVISEUR AU RAPPORT 1/40

TABLEAU

de divisions circulaires simples

DONT LE NOMBRE NE DIVISE PAS **40** EXACTEMENT

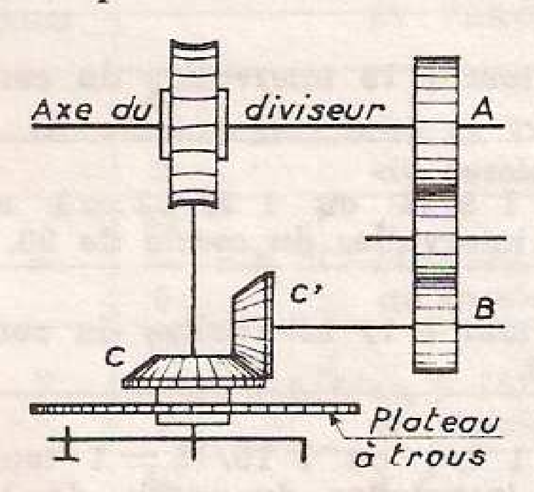
Divisions	NOMBRE DE TOURS DE LA MANIVELLE ET FRACTIONS DE TOUR
3	$\frac{40}{3}$ = 13 1/3 ou 13 5/15 = 13 tours + 5 intervalles du cercle de 15.
6	$\frac{40}{6}$ = 6 2/3 ou 6 10/15 = 6 tours + 10 intervalles du cercle de 15.
7	$\frac{40}{7}$ = 5 5/7 ou 5 15/21 = 5 tours + 15 intervalles du cercle de 21.
9	$\frac{40}{9}$ = 4 4/9 ou 4 8/18 = 4 tours + 8 intervalles du cercle de 18.
11	$\frac{40}{11}$ = 3 7/11 ou 3 21/33 = 3 tours + 21 intervalles du cercle de 33.
12	$\frac{40}{12}$ = 3 4/12 ou 3 1/3 ou 3 5/15 = 3 tours + 5 intervalles du cercle de 15.
13	$\frac{40}{13}$ = 3 1/3 ou 3 3/39 = 3 tours + 3 intervalles du cercle de 39.
14	$\frac{40}{14}$ = 2 12/14 ou 2 6/7 ou 2 18/21 = 2 tours + 18 intervalles du cercle de 21.
15	$\frac{40}{15}$ = 2 10/15 = 2 tours + 10 intervalles du cercle de 15.
16	$\frac{40}{16}$ = 2 8/16 = 2 tours + 8 intervalles du cercle de 16.
17	$\frac{40}{17}$ = 2 6/17 = 2 tours + 6 intervalles du cercle de 17.
18	$\frac{40}{18}$ = 2 4/18 = 2 tours + 4 intervalles du cercle de 18.

TABLEAU de divisions (suite)

Divisions	NOMBRE DE TOURS DE LA MANIVELLE ET FRACTIONS DE TOUR
19	$\frac{40}{19}$ = 2 2/19 = 2 tours + 2 intervalles du cercle de 19.
21	$\frac{40}{21}$ = 1 19/21 = 1 tour + 19 intervalles du cercle de 21.
22	$\frac{40}{22}$ = 1 18/22 ou 1 9/11 ou 1 27/33 = 1 tour + 27 intervalles du cercle de 33.
23	$\frac{40}{23}$ = 1 17/23 = 1 tour + 17 intervalles du cercle de 23.
24	$\frac{40}{24}$ = 1 16/24 ou 1 2/3 ou 1 10/15 = 1 tour + 10 intervalles du cercle de 15.
25	$\frac{40}{25}$ = 1 15/25 ou 1 3/5 ou 1 9/15 = 1 tour + 9 intervalles du cercle de 15.
26	$\frac{40}{26}$ = 1 14/26 ou 1 7/13 ou 1 21/39 = 1 tour + 21 intervalles du cercle de 39.
27	$\frac{40}{27}$ = 1 13/27 = 1 tour + 13 intervalles du cercle de 27.
28	$\frac{40}{28}$ = 1 12/28 ou 1 3/7 ou 1 9/21 = 1 tour + 9 intervalles du cercle de 21.
29	$\frac{40}{29}$ = 1 11/29 = 1 tour + 11 intervalles du cercle de 29.
30	$\frac{40}{30}$ = 1 10/30 ou 1 1/3 ou 1 5/15 = 1 tour + 5 intervalles du cercle de 15.
31	$\frac{40}{31}$ = 1 9/31 = 1 tour + 9 intervalles du cercle de 31.
32	$\frac{40}{32}$ = 1 8/32 ou 1 1/4 ou 1 4/16 = 1 tour + 4 intervalles du cercle de 16.

Ce procédé consiste à faire *avancer* ou *reculer* le plateau à trous pendant la rotation de la manivelle-pointeau, en montant, entre l'axe du diviseur A et l'axe du pignon conique B, un train de roues dentées (schéma ci-dessous) :

Principe de la division différentielle. — 1° Choisir une division approchante Z' de la division à réaliser Z et qui puisse être obtenue par l'emploi de la méthode simple en déterminant le plateau et le nombre de trous du cercle à utiliser;



2° Calculer, pour un diviseur au **1/40** par exemple, les roues à monter en appliquant la formule suivante :

$$\frac{\text{Roue menante A}}{\text{Roue menée B}} = \frac{(40 \times \text{différence entre } Z' \text{ et } Z)}{Z'}$$

Exemple. — Soit à réaliser 87 divisions sur un diviseur au 1/40, le rapport des pignons coniques $\frac{c}{c'} = \frac{1}{1}$. *Roues disponibles :*

24 et 24, 28, 32, 40, 44, 48, 56,
64, 72, 86 et 100 dents.

Division approchante $Z' = 90$
Division a réaliser $Z = 87$

Cercle à utiliser :

$$\frac{40}{90} = \frac{4}{9} = \frac{8}{18}$$

soit 8 *intervalles* sur le cercle de 18 trous.

Roues à monter :

$$\frac{40 \times (90 - 87)}{90} = \frac{40 \times 3}{90} = \frac{4}{3} = \frac{32}{24} = \frac{\text{Roue A}}{\text{Roue B}}$$

REMARQUES :

a) Pour un diviseur au 1/60, faire les mêmes calculs en remplaçant le facteur 40 par 60;

b) Lorsque le rapport A/B ne permet pas de trouver deux roues de la série dont on dispose, utiliser un montage à quatre roues;

c) Le rapport des pignons coniques *c/c′* n'est pas toujours égal à 1/1, ce qui a pour conséquence de modifier les roues A et B.

Cette modification consiste :

A faire effectuer au plateau à trous, un nombre de tours égal au rapport du diviseur (40 pour un diviseur au 1/40) et à compter le nombre de tours que fait l'axe de la roue B.

EXEMPLE. — Si l'axe de la roue B fait 20 tours pour 40 tours du plateau à trous, calculer les roues comme si le diviseur était au 1/20.

— Le calcul du cercle à utiliser n'est pas modifié.

Sens de rotation manivelle et plateau :

Même sens, si $Z' > Z$ *Sens inverse*, si $Z' < Z$.

Ces conditions s'obtiennent, en reliant les roues A et B par une ou deux roues intermédiaires d'un nombre quelconque de dents (*selon le cas*).

— DIVISION ANGULAIRE —

— Angle dont tourne la pièce pour *un tour* de manivelle du diviseur.

$$\frac{A}{B} = \frac{\text{Angle à exécuter}}{\text{Angle pour 1 tour de manivelle}}$$

$$\text{Diviseur } 1/40 = \frac{360°}{40} = 9° = 540'$$

Application :

Soit à exécuter un angle de 18° 40′.

$$\frac{A}{B} = \frac{18°\,40'}{9°} = \frac{1120'}{540'}$$

$$= \frac{112}{54} = 2 + \frac{4}{54} = 2 + \frac{2}{27}$$

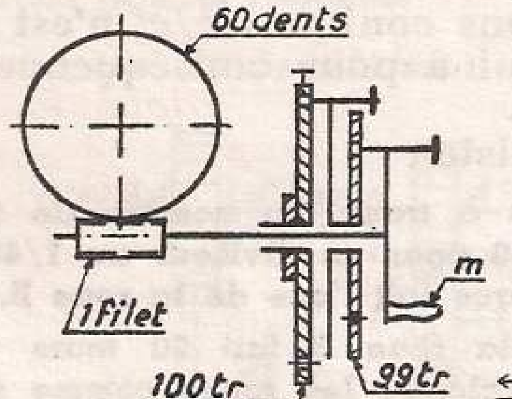
= 2 tours + 2 intervalles sur le cercle de 27 trous.

— DIVISION DÉCIMALE —

Réalisée sur Diviseur décimal universel (1)

— au rapport 1/60 —

Cet appareil permet : 1° La division par le procédé normal (à l'aide du petit disque);



2° La division décimale à l'aide de deux disques : l'un de 100 trous, l'autre de 99 trous, dont l'emploi combiné donne la possibilité de réaliser toutes les divisions usuelles.

← Schéma de principe

EXPOSÉ THÉORIQUE du procédé " Décimal universel ".

Il est basé :

a) Sur la transformation en nombre décimal de la fraction :

60 = rapport du diviseur,
Z = nombre de divisions à obtenir.

$\frac{60}{Z}$ représente le nombre de tours et fractions de tours de la vis sans fin.

b) Sur la différence, traduite en nombre décimal, entre les 2 divisions de 1/100 et 1/99 :

1/99 = 0,01 01 01
1/100 = 0,01 00 00

Différence = 0,00 01 01
soit pratiquement 1 dix millième.

— Donc, chaque fois que l'on remplacera 1/100 par 1/99, on augmentera de 1 dix millième de tour, la valeur de l'angle décrit par la manivelle *m* du diviseur.

REMARQUE. — Chaque fois que le quotient 60/Z donnera un nombre à 2 chiffres périodiques, l'opération sera RIGOUREUSEMENT EXACTE.

(1) Diviseur décimal SOMUA.

Réalisation pratique de la division.

I. EXEMPLE. — Soit 176 divisions à obtenir.

$$\frac{60}{Z} = \frac{60}{176} = 0{,}34\ 09\ 09$$

Réaliser sur le disque de 100 trous : 34 — 09 = 25 *divisions* et ensuite 9 *divisions* sur le disque de 99 trous (ces déplacements s'effectuent par la manœuvre des pointeaux). L'angle décrit par la manivelle *m* sera :

$$\begin{array}{rr} & 0{,}25 \\ & +\ 0{,}09\ 09\ 09 \\ \hline \text{Résultat exact en tour} & =\ 0{,}34\ 09\ 09 \end{array}$$

II. EXEMPLE : 41 divisions à obtenir (nombre premier).

$$\frac{60}{Z} = \frac{60}{41} = 1{,}46\ 34\ 14$$

Réaliser sur le disque de 100 trous : 146 — 34 = 112 *divisions* et 34 *divisions* sur le disque de 99 trous.

L'angle décrit par la manivelle *m* sera :

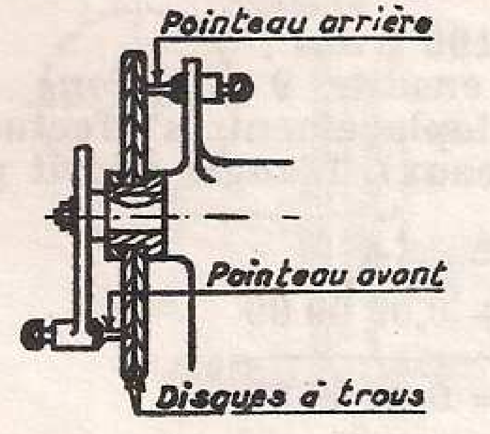
$$\begin{array}{rr} & 1{,}12 \\ & +\ 0{,}34\ 34\ 34 \\ \hline \text{Nombre de tours :} & 1{,}46\ 34\ 34 \\ & -\ 1{,}46\ 34\ 14\ (\textit{nombre à obtenir}) \\ \hline \end{array}$$

Erreur en plus : $0^{tr},00\ 00\ 20$ correspondant à 1/50.000 de tour à la manivelle, soit *3 millionièmes* de tour à la broche.

DIVISION COMPOSÉE

Ce procédé de division nécessite un appareil diviseur possédant deux pointeaux (*fig. page suivante*) et pouvant être équipé de deux plateaux à trous, rendus solidaires l'un de l'autre, si les deux cercles de trous à utiliser ne se trouvent pas sur le même plateau.

Principe. — La fraction primitive est remplacée par deux autres fractions, dont la somme ou la différence équivaut à cette fraction. — La première fraction est réalisée à l'aide du pointeau avant, la seconde à l'aide du pointeau arrière, soit par mouvement additif ou soustractif.



Application. — Diviser une circonférence en 287 parties égales sur diviseur au rapport 1/60 (1)

$$\frac{60}{Z} = 287 \text{ (fraction irréductible)}$$

1° Décomposer le dénominateur de la fraction en facteurs, soit $287 = 41 \times 7$;

2° Rechercher une fraction simplifiable ayant pour somme ou différence $\frac{60}{287}$.

Exemple de calcul :

a) $41 \times 1 = \frac{60}{287} = \frac{41}{287} + \frac{19}{287}$ (1re fraction irréductible)

b) $41 \times 2 = \frac{60}{287} = \frac{82}{287} - \frac{22}{287}$ (2e fraction irréductible)

c) $41 \times 3 = \frac{60}{287} = \frac{123}{287} - \frac{63}{287}$ (fraction simplifiable)

On obtient :

$$\frac{123}{287} = \frac{3}{7} = \frac{51}{119} \text{ et } \frac{63}{287} = \frac{9}{41}$$

soit 51 intervalles sur le cercle de 119 trous (*pointeau avant*) moins 9 intervalles sur le cercle de 41 trous (*pointeau arrière*).

(1) Diviseur des Etablissements Gambin (par exemple).

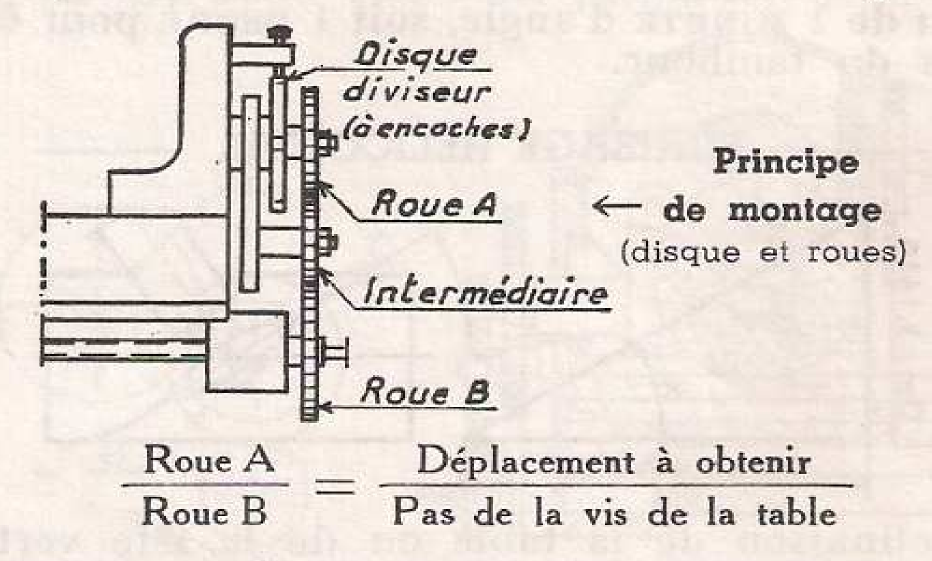
— DIVISIONS RECTILIGNES —

sur machine à fraiser à l'aide de roues dentées

— APPLICATION —

au taillage des crémaillères

— La division linéaire d'une crémaillère s'effectue, à l'aide d'un disque diviseur à 4 encoches (1), relié à la vis de commande de la table de la fraiseuse, par l'intermédiaire d'un train d'engrenages :



$$\frac{\text{Roue A}}{\text{Roue B}} = \frac{\text{Déplacement à obtenir}}{\text{Pas de la vis de la table}}$$

Exemple. — Soit à tailler une crémaillère au module 1,75 (valeur de module secondaire normalisé), sur une fraiseuse dont la vis de la table est au pas de 5 mm.

Pas linéaire de la crémaillère :

$$1{,}75 \times 3{,}1416 = 5{,}497 \text{ mm}$$

CALCUL DES ROUES :

En utilisant le rapport $\frac{22}{7} = 3{,}1428$, on obtient :

$$1{,}75 \times \frac{22}{7} = \frac{38{,}5}{7} = \frac{385}{70}$$

$$\frac{A}{B} = \frac{385}{5 \times 70} = \frac{11}{10} = \frac{44}{40}$$

$$\text{Pas obtenu : } \frac{44 \times 5}{40} = 5{,}5 \text{ mm.}$$

(1) Pour réaliser par exemple le module **2,75** : *Calculer les roues pour le module* **1** *et tourner le disque diviseur de* **2 tours 3/4.**

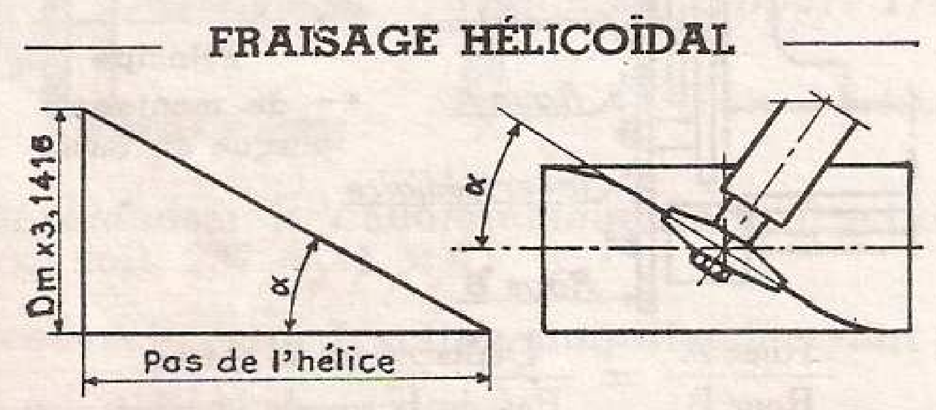
— Procédé identique de division pour tous les modules.

Division sur plateau circulaire. — QUELQUES NOTES :

a) Divisé en 360°, un plateau circulaire est actionné par une *vis sans fin* généralement à 1 filet, laquelle entraîne en rotation une *roue dentée* comprenant le plus souvent 120 dents (sous-multiple de 360°, soit 3° pour chaque tour de vis sans fin);

b) Pour une vis sans fin sur laquelle est adapté un tambour gradué de 180 *divisions*, par exemple, une division correspond à un déplacement circulaire du plateau de 1 MINUTE d'angle, soit 1 DEGRÉ pour 60 divisions du tambour.

FRAISAGE HÉLICOÏDAL



L'inclinaison de la table ou de la tête verticale de la fraiseuse est donnée par l'angle α que fait la tangente à l'hélice à construire avec l'axe de la pièce à tailler :

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\text{Diamètre moyen} \times 3.1416}{\text{Pas de l'hélice}}$$

Le diamètre moyen de la profondeur du filet de l'hélice est obtenu en divisant par 2 la somme du diamètre extérieur et du diamètre fond de taille.

CALCUL DU PAS FICTIF
de la vis de commande de la table

Ce pas fictif est déterminé en multipliant le pas de la vis de la table par le rapport du diviseur.

EXEMPLE : Pas P de la vis de la table = 5 mm, rapport du diviseur 1/40; le pas fictif de la vis de commande est égal à :

$$P \times 40 = 5 \times 40 = 200 \text{ mm}$$

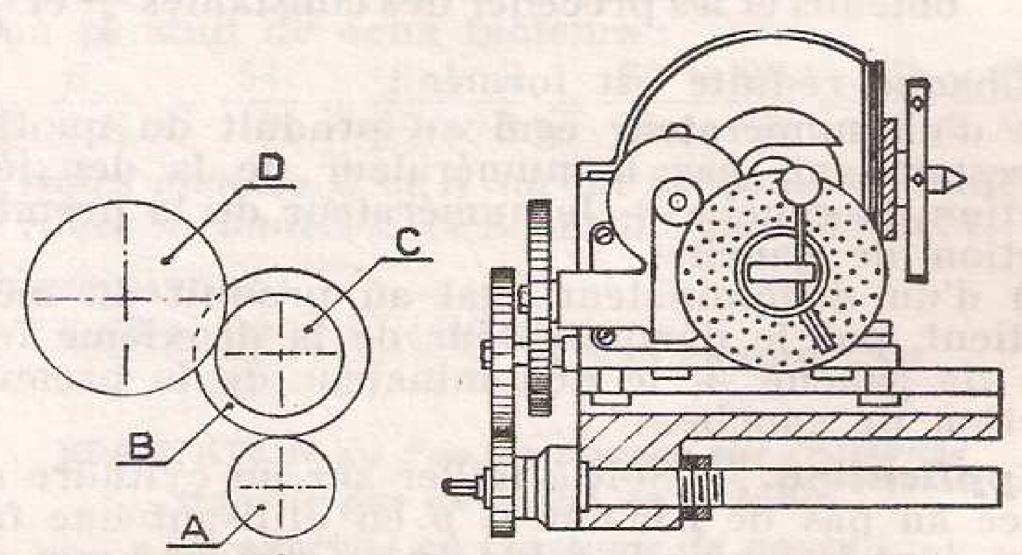
D'où *la formule fondamentale :*

$$\frac{\text{pas à construire}}{\text{pas de la vis de la table} \times 40} = \frac{\text{nombre de dents des roues menées}}{\text{nombre de dents des roues menantes}}$$

ou pas à construire $p = \dfrac{40\ P \times D \times B}{C \times A}$ pour un montage à 4 roues. (*Fig. ci-dessous.*)

CALCUL ET MONTAGE DES ROUES

Dans le fraisage en hélice, le mouvement de rotation du diviseur étant transmis par la vis de commande de la table de fraiseuse, la roue calée sur cette vis est donc une roue *menante*.



REMARQUE. — Le montage des roues, représenté par la figure ci-dessus, permet d'exécuter un fraisage hélicoïdal. Le sens de rotation variant suivant les diviseurs, on intercalera donc, selon le cas, une roue supplémentaire quelconque.

APPLICATIONS NUMÉRIQUES.

Rapport du diviseur 1/40

Exemple I

Pas à réaliser : $p = \mathbf{120}$ mm.

Pas fictif de la vis de commande : P = 200 mm.

$$\frac{p}{P} = \frac{120}{200} = \frac{12}{20} = \frac{2 \times 6}{4 \times 5}$$

En multipliant tous les termes par 10, on obtient :

$$\frac{2 \times 6}{4 \times 5} = \frac{20 \times 60}{40 \times 50} = \frac{D \times B}{C \times A}$$

VÉRIFICATION : $\dfrac{20 \times 60 \times 200}{40 \times 50} = \mathbf{120\ mm} = p$

Exemple II : UTILISATION DES RÉDUITES.

Formation des réduites :

1° Chercher le P.G.C.D. (*plus grand commun diviseur*) des deux nombres par la méthode des divisions successives;

2° Ecrire à la suite les uns des autres les quotients obtenus et les précéder des constantes $\frac{0}{1}$ et $\frac{1}{0}$;

3° Chaque réduite est formée :

a) d'un numérateur égal au produit du quotient correspondant, par le numérateur de la deuxième fraction de gauche + le numérateur de la première fraction de gauche;

b) d'un dénominateur égal au produit du même quotient, par le dénominateur de la deuxième fraction de gauche + le dénominateur de la première fraction de gauche.

Application. — Soit à tailler sur un cylindre une hélice au pas de 635 mm = p en utilisant une fraiseuse dont la vis de la table est au pas de 5 mm = P et un diviseur dont le rapport :

$$\frac{\textit{Vis sans fin}}{\textit{Roue dentée}} = \frac{1}{K}\left(\frac{1}{40}\right)$$

Les roues disponibles sont :
de 20 à 30 par 1 dent;
de 30 à 100 par 5 dents.

CALCUL DES ROUES

$$\frac{p}{P \times K} = \frac{635}{5 \times 40} = \frac{635}{200} = \frac{127}{40}$$

Cette fraction étant irréductible, on cherchera une valeur approchée à l'aide des réduites, permettant l'utilisation des roues disponibles.

1° *Détermination des quotients*

	3	5	1	2	2	...quotients
127	40	7	5	2	1	...diviseurs
7	5	2	1	0		...restes

2° Calcul des réduites

		3	5	1	2	2	...quotients
$\frac{0}{1}$	$\frac{1}{0}$	$\frac{3}{1}$	$\frac{16}{5}$	$\frac{19}{6}$	$\frac{54}{17}$	$\frac{127}{40}$	...réduites

On utilisera la réduite $\frac{54}{17}$ que l'on décomposera en un produit de deux facteurs :

$$\frac{p}{P \times K} = \frac{54}{17} = \frac{6 \times 9}{17 \times 1} = \frac{60 \times 90}{85 \times 20} = \frac{D \times B}{C \times A}$$

Les roues menées D et B auront 60 dents et 90 dents.
Les roues menantes C et A auront 85 et 20 dents.

VÉRIFICATION :

$$\frac{60 \times 90 \times 5 \times 40}{85 \times 20} = \mathbf{635,29}\ \text{mm} = p$$

RÉALISATION *de Pas en pouces sur fraiseuse dont le pas de la vis de la table est exprimé en fractions de pouce*

Exemple :

Pas à réaliser : $p = 3'' = 25,4 \times 3 =$ **76,2 mm.**

Pas réel de la vis de la table :

$$P = 5 \text{ filets au pouce} = \frac{25,4}{5} = 5,08 \text{ mm.}$$

Pas fictif de la vis de commande :

$$\frac{25,4}{5} \times 40 \text{ (rapport du diviseur)} = 25,4 \times 8$$

$$\frac{p}{P} = \frac{25,4 \times 3}{25,4 \times 8} = \frac{3}{8} = \frac{3}{4} \times \frac{1}{2} = \frac{30 \times 25}{40 \times 50} = \frac{D \times B}{C \times A}$$

VÉRIFICATION :

$$\frac{30 \times 25 \times 25,4 \times 8}{40 \times 50} = \mathbf{76,2}\ \text{mm} = p$$

Vis à plusieurs filets.

Exemple. — Une vis à 4 filets, au module 3, a pour pas :

$$3 \times 3,1416 \times 4 = \mathbf{37,70}\ \text{mm.}$$

TAILLAGE DE CAMES

EN SPIRALE (1)

SUR FRAISEUSE UNIVERSELLE

Le pas d'une spirale. — C'est la *longueur* dont augmente le rayon quand la courbe a fait un tour (*fig. 1*).

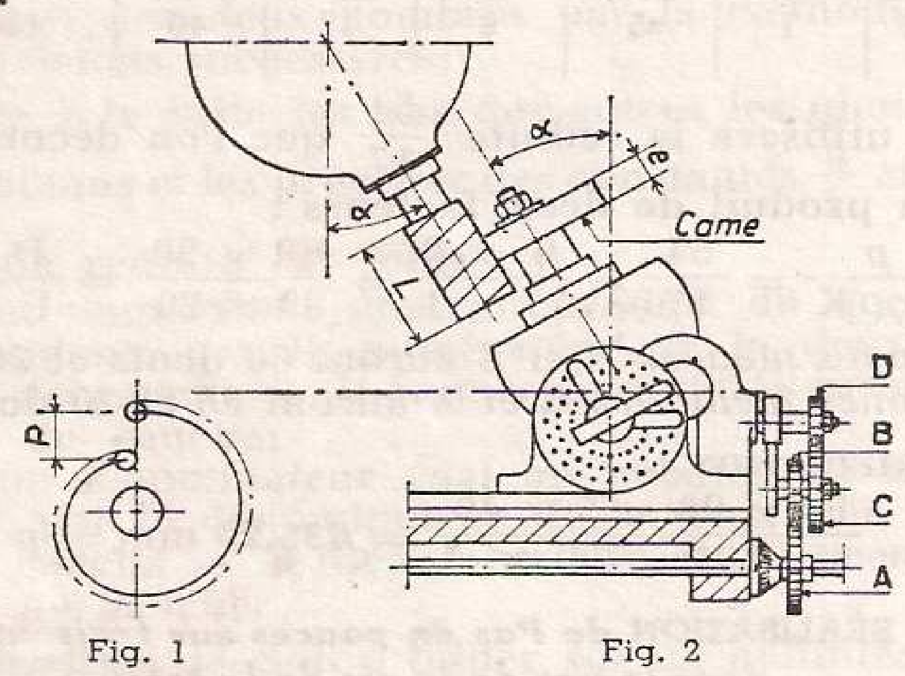


Fig. 1 Fig. 2

Exécution. — La came à exécuter étant montée sur un mandrin calé dans la broche du diviseur, deux procédés de taillage sont employés :

I. *Taillage en position verticale :*

(Le pas de la spirale *p* correspond à l'un des pas obtenus sur la fraiseuse utilisée.)

a) Le disque de la came à tailler est monté sur la broche du diviseur, l'axe de cette broche et l'axe du porte-fraise sont placés verticalement;

b) La table de la fraiseuse se déplace du pas de la spirale *p* pour un tour de la came à l'aide d'un montage approprié de roues dentées, servant au fraisage hélicoïdal. (*Pour le calcul et le montage des roues, se reporter à l'exemple* I *page* 83).

(1) Cames en spirale. — Pièces profilées, en progression constante, destinées à transformer un mouvement de rotation en un mouvement de translation uniforme.

II. *Taillage en position oblique* (*fig.* 2) :

(Le pas de la spirale *p* ne correspond pas à l'un des pas obtenus sur la fraiseuse.)

a) Choisir un pas quelconque P le plus rapproché possible et supérieur au pas de la spirale *p*;

b) Incliner l'axe de la broche du diviseur ainsi que l'axe du porte-fraise d'un angle α obtenu par la relation suivante :

$$\text{Cos}\ \alpha = \frac{p}{P} = \frac{\text{pas de la spirale à réaliser}}{\text{pas réalisable sur la fraiseuse}}$$

Application. — Soit à tailler à l'aide d'un diviseur au 1/40, sur une fraiseuse universelle dont la vis de la table est au pas de 5 mm, une came en spirale au pas de 35,2 mm.

Le pas supérieur et le plus rapproché, réalisable sur la fraiseuse, est 35,52 mm, *obtenu à l'aide des*

$$\textit{roues :}\ \frac{24 \times 28}{44 \times 86} = \frac{D \times B\ \text{(roues menées)}}{C \times A\ \text{(roues menantes)}}$$

VÉRIFICATION :

$$\frac{24 \times 28 \times 5 \times 40}{44 \times 86} = \mathbf{35{,}52 = P}$$

L'angle α d'inclinaison de la broche du diviseur et de la broche porte-fraise sera :

$$\text{Cos}\ \alpha = \frac{35{,}2}{35{,}52} = 0{,}99087$$

$$\text{d'où :}\quad \alpha = 7°\ 45'$$

REMARQUE : La fraise utilisée doit avoir une partie taillée L de longueur suffisante.

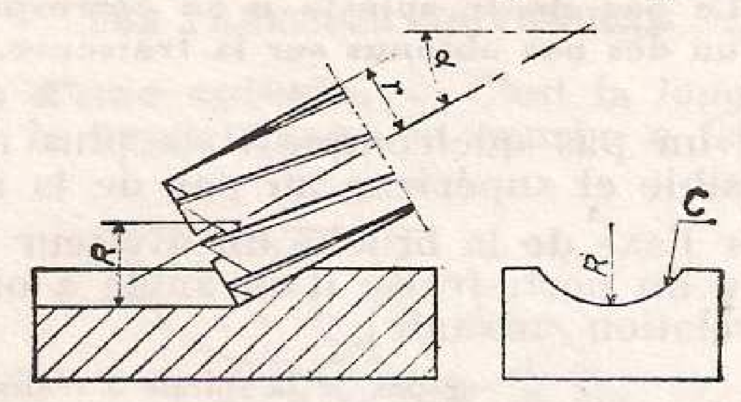
Exemple. — Si *e* est l'épaisseur du disque de la came et P le pas utilisé sur la fraiseuse, il faut que L soit plus grand que $e + P \sin \alpha$.

Application. — Dans l'exemple donné ci-dessus, si $e = 10$ mm, la longueur L sera :

$$10 + (35{,}52 \times \sin 7°\ 45')$$

ou : $10 + (35{,}52 \times 0{,}13485) = 14{,}6$ environ.

FRAISAGE concave approché à l'aide d'une fraise cylindrique



Angle α d'inclinaison de la tête de fraiseuse

APPLICATION. — Soit à réaliser le fraisage d'un profil concave représenté fig. ci-dessus.

FORMULE : $\cos \alpha = \dfrac{\text{rayon } r \text{ de la fraise}}{\text{Rayon R à obtenir}}$

EXEMPLE. — Rayon approché R à réaliser = 32 mm; rayon *r* de la fraise = 30 mm, on obtient :

$$\cos \alpha = \frac{30}{32} = 0{,}9375, \quad \text{d'où } \alpha = 20^\circ\ 20'.$$

REMARQUES. — On utilise une fraise cylindrique de rayon inférieur *r*, le plus rapproché possible du Rayon R à réaliser. — La courbe C, obtenue par ce procédé de fraisage, est légèrement elliptique.

LES ENGRENAGES

— Les dimensions des dentures sont calculées en fonction du nombre de dents (Z) de la roue et du *module* (M).

RAPPORT DU MODULE. — Il est égal au quotient du pas circonférentiel exprimé en millimètres par le nombre π :

$$M = \frac{\textit{Pas circonférentiel}}{\pi}$$

MODULES normalisés. — *Valeurs principales :*
0,5 — 0,6 — 0,8 — 1 — 1,25 — 1,5 — 2 — 2,5 — 3
4 — 5 — 6 — 8 — 10 — 12 — 16 — 20 — 25

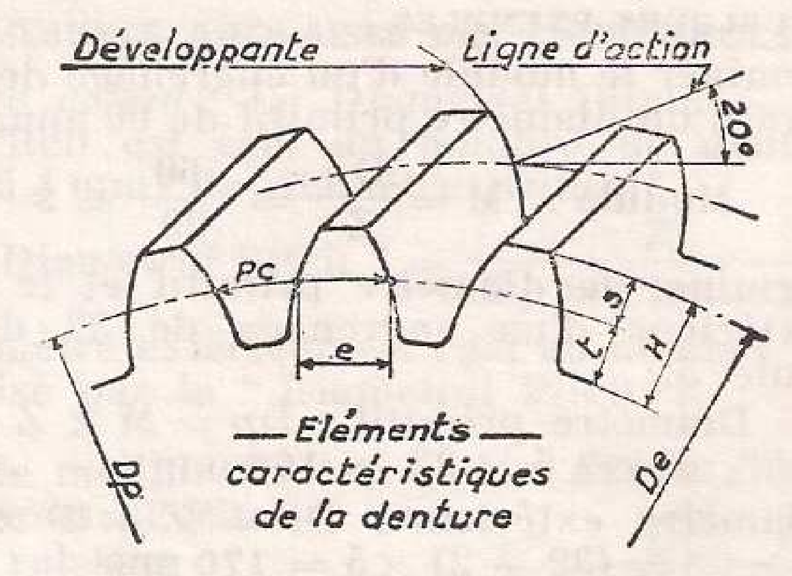
ENGRENAGES CYLINDRIQUES

— A DENTURE DROITE —

Profil des dents :

C'est un arc de développante de cercle (représenté page 20).

ANGLE DE PRESSION : 20° (NORMALISÉ).



— CALCUL DES ÉLÉMENTS —

M = MODULE OU PAS DIAMÉTRAL = $\frac{Dp}{Z}$ ou $\frac{De}{Z+2}$

Pc = PAS CIRCONFÉRENTIEL = $M \times \pi$ ou $\frac{Dp \times \pi}{Z}$

Dp = DIAMÈTRE PRIMITIF = $M \times Z$ ou $De - (M \times 2)$

De = DIAMÈTRE EXTÉRIEUR = $(Z + 2) \times M$

Z = *Nombre de dents* = $\frac{Dp}{M}$ ou $\frac{De}{M} - 2$

e = *épaisseur de la dent prise sur le cercle primitif* = $\frac{M\pi}{2}$ (roues sans jeu).

Saillie S (*en mm*) ou *hauteur de la dent au-dessus du cercle primitif* = Module.

Creux t (*en mm*) ou *hauteur de la dent au-dessous du cercle primitif.*

— DENTURE NORMALE —

Saillie de la dent....	1	module
Creux..............	1,25	—
Hauteur totale.......	2,25	—

Z et Z_1 = *Nombre de dents des 2 roues.*

Dp et dp = *Diamètre primitif des 2 roues.*

Distance des axes : $\frac{Z + Z_1}{2} \times M$ ou $\frac{Dp + dp}{2}$

QUELQUES EXEMPLES :

1° Déterminer le module d'un engrenage de 20 dents ayant un diamètre primitif de 60 mm.

$$\text{Module : } M = \frac{Dp}{Z} = \frac{60}{20} = \mathbf{3}$$

2° Déterminer le diamètre primitif et le diamètre extérieur d'un engrenage de 32 dents module 5.

Diamètre primitif : $Dp = M \times Z$
$= 5 \times 32 =$ **160** mm

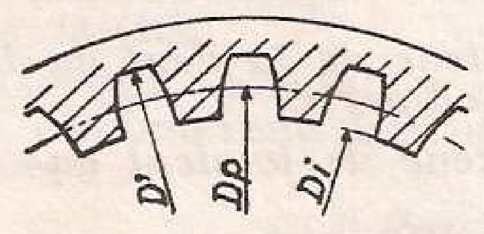
Diamètre extérieur : $De = (Z + 2) \times M$
$= (32 + 2) \times 5 =$ **170** mm

TAILLAGE DES ENGRENAGES DROITS

CHOIX DE LA FRAISE. — Jusqu'au module 10, le jeu est de 8 *fraises* par module :

Numéro des fraises	1	2	3	4	5	6	7	8
Nombre de dents à tailler	12 et 13	14 à 16	17 à 20	21 à 25	26 à 34	35 à 54	55 à 134	135 à la crém.

ENGRENAGES à denture intérieure (fig. ci-dessous)



CALCUL. — On utilise les formules pour engrenages à *denture extérieure*, complétées des éléments suivants :

a) Le *cercle d'échanfreinement* des dents, de diamètre Di, est égal au diamètre primitif Dp moins deux fois la saillie de la dent ou deux fois le module M :

$$Di = Dp - 2M$$

b) Le *diamètre d'évidement* D′ est égal au diamètre primitif plus deux fois la hauteur du creux de la dent :

$$D' = Dp + 2,5\,M$$

MESURES ANGLAISES DES ENGRENAGES

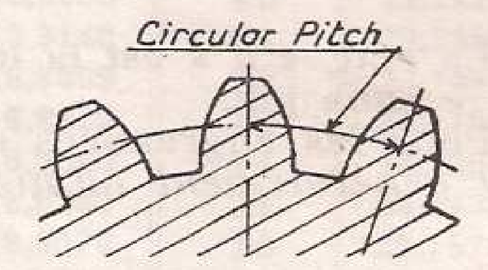
Base de calcul : Le Diametral Pitch. — Le Diametral Pitch est égal au nombre de dents Z par pouce (25,4 mm) de diamètre primitif :

$$\text{“ Diametral Pitch ”} = \frac{Z}{Dp \text{ (en } pouces\text{)}}$$

Le diamètre extérieur est égal au nombre de dents + 2, divisé par le “ Diametral Pitch ”.

Entre le module M et le “ Diametral Pitch ” existe la relation :

$$M = \frac{25,4}{\text{“ Diametral Pitch ”}}$$



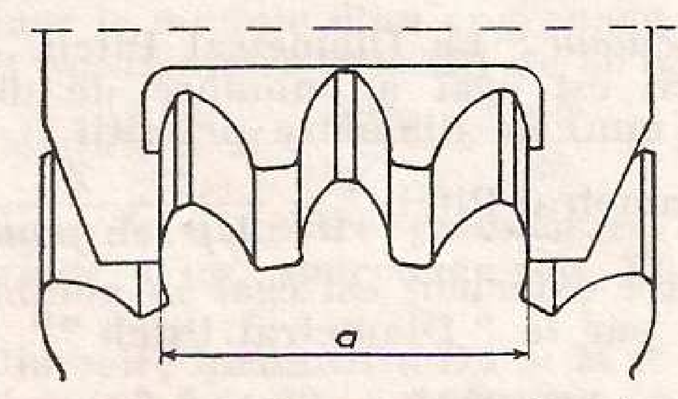
Le Circular Pitch (*pas circonférentiel*), est donné par la formule : $\text{c. pitch} = \dfrac{\pi}{\text{d. pitch}}$.

TABLEAU de conversion du Diametral Pitch en module et en pas circonférentiel

DIAMETRAL Pitch	MODULE métrique correspondant	PAS circonférentiel en mm	EPAISSEUR de la dent au diamètre primitif	Hauteur H de la dent en mm
2	12,70	39,895	19,948	26,967
2 1/2	10,159	31,915	15,958	21,573
3	8,466	26,596	13,298	17,978
4	6,35	19,946	9,973	13,482
5	5,08	15,956	7,978	10,785
6	4,233	13,298	6,649	8,989
7	3,628	11,397	5,699	7,704
8	3,175	9,971	4,986	6,740
9	2,822	8,865	4,433	5,992
10	2,54	7,976	3,988	5,391

MESURE DE L'ÉPAISSEUR
—— DES DENTS D'ENGRENAGES ——

Denture normale (angle de pression : **20°**). — La mesure de l'épaisseur des dents (*fig. ci-dessous*) s'effectue au moyen de calibres dits « *fers à cheval* » ou d'un calibre à coulisse mesurant plusieurs dents.



La cote « *a* » est la longueur calculée d'un engrenage sans jeu.

Pour les engrenages droits à denture rectifiée, *le jeu généralement admis est fonction du module.*

Caractéristiques :

a : cote d'un engrenage sans jeu.
z : nombre de dents mesurées.
k : coefficient.
α : angle de pression en degrés.
M : module.
Z : nombre de dents de l'engrenage.

Valeur de Z. pour α = 20°	*z*	*k*
12 — 18	2	3
19 — 27	3	5
28 — 36	4	7
37 — 45	5	9
46 — 54	6	11
55 — 63	7	13
64 — 72	8	15
73 — 81	9	17
82 — 91	10	19

Formule utilisée :

$$a = M\,[(\mathbf{1{,}476\ 065}\ k) + (\mathbf{0{,}013\ 996}\ Z)]$$

Exemple. — Soit à vérifier un pignon de Z = 49 dents, module M = 2,5, angle de pression = 20°. Pour 49 dents, le tableau ci-dessus indique :

z (*nombre de dents mesurées*) = 6

et *k* (*coefficient*) = 11, la cote « *a* » sera :

$$a = 2{,}5\,[(1{,}476\ 065 \times 11) + (0{,}013\ 996 \times 49)]$$
$$= 2{,}5\,(16{,}236\ 715 + 0{,}685\ 804)$$
$$= 2{,}5 \times 16{,}922\ 519 = \mathbf{42{,}30}\ \text{mm}$$

TABLE DE CONSTANTES

pour vérification des dents d'engrenages

(Denture normale)

Module de base 1. — *Angle de pression* 20°

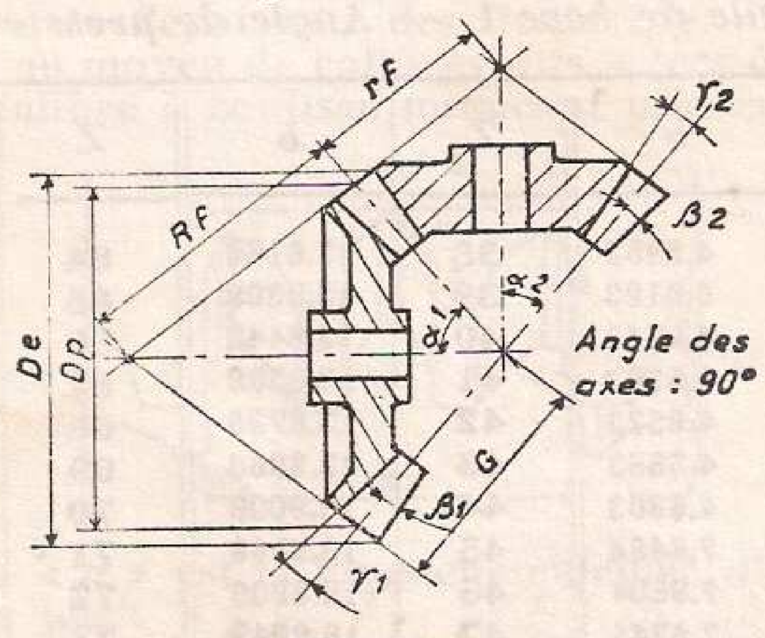
Z	b	Z	b	Z	b
12	4,5963	38	13,8168	64	23,0373
13	4,6103	39	13,8308	65	23,0513
14	4,6243	40	13,8448	66	23,0653
15	4,6383	41	13,8588	67	23,0793
16	4,6523	42	13,8728	68	23,0933
17	4,6663	43	13,8868	69	23,1073
18	4,6803	44	13,9008	70	23,1213
19	7,6464	45	13,9148	71	23,1353
20	7,6604	46	16,8809	72	23,1493
21	7,6744	47	16,8949	73	26,1155
22	7,6884	48	16,9090	74	26,1295
23	7,7024	49	16,9230	75	26,1435
24	7,7164	50	16,9370	76	26,1575
25	7,7304	51	16,9510	77	26,1715
26	7,7445	52	16,9650	78	26,1817
27	7,7585	53	16,9790	79	26,1957
28	10,7246	54	16,9930	80	26,2100
29	10,7386	55	19,9591	82	29,1977
30	10,7526	56	19,9731	83	29,2117
31	10,7666	57	19,9871	84	29,2257
32	10,7806	58	20,0011	85	29,2397
33	10,7946	59	20,0151	86	29,2537
34	10,8086	60	20,0291	88	29,2817
35	10,8226	61	20,0431	90	29,3097
36	10,8366	62	20,0572	95	32,3300
37	13,8028	63	20,0712	100	32,4000

UTILISATION DU TABLEAU (*ci-dessus*)

Pour obtenir, directement, la cote « *a* » sur *z* dents d'un engrenage de module M, il suffit, pour les engrenages, ayant de 12 à 100 dents, de rechercher dans le TABLEAU le nombre (**colonnes** *b*) correspondant au nombre Z de dents de l'engrenage, et multiplier ce nombre par le module.

ENGRENAGES CONIQUES

Ces engrenages servent à transmettre un mouvement de rotation entre deux arbres qui se coupent, le plus souvent à *angle droit* (90°).



TAILLAGE DES ENGRENAGES CONIQUES

L'opération de taillage ne peut être *exactement* exécutée que par RABOTAGE des dents sur MACHINES SPÉCIALES à l'aide de deux *outils-couteau*, dont les mouvements sont symétriques par rapport au plan médian de la dent taillée.

TAILLAGE SUR MACHINES A FRAISER

Le taillage des dents d'engrenages coniques à la *fraise* ne peut donner qu'un profil approché du profil théorique (les dentures de ces engrenages nécessitent donc des retouches après l'opération de taillage).

REMARQUE. — Lorsqu'il s'agit de *pignons* coniques dont la longueur de denture est inférieure au 1/3 de la génératrice du cône primitif, l'emploi de fraises-module normales peut être suffisant (*dans certains cas*).

CHOIX DE LA FRAISE. — La fraise à utiliser n'est pas déterminée d'après le nombre réel de dents de l'engrenage conique, mais d'après le nombre de dents d'un ENGRENAGE DROIT FICTIF, **dont le rayon serait égal à R*f* pour le grand engrenage et r*f* pour le pignon** (voir fig. ci-dessus).

(*suite*)

En appelant D_f et D_{1f} les diamètres fictifs correspondants, Z_f et Z_{1f} les nombres de dents correspondants, on a :

$$D_f = \frac{D_p}{\cos \alpha_1} \quad \text{et} \quad D_{1f} = \frac{d_p}{\cos \alpha_2}$$

$$Z_f = \frac{D_f}{M} = \frac{Z}{\cos \alpha_1} \quad \text{et} \quad Z_{1f} = \frac{Z_1}{\cos \alpha_2}$$

ELÉMENTS DE LA DENTURE

(*Eng. coniques dont les axes sont perpendiculaires*)

M = Module;
Dp et *dp* = Diamètres primitifs, grande et petite roue;
De et *de* = Diamètres extérieurs, grande et petite roue;
Z = Nombre de dents, grande roue;
Z_1 = Nombre de dents, petite roue (pignon);
Rf et *rf* = Rayons fictifs;
Saillie *s* de la dent = M; Creux *t* = 1,25 M;
Angle de tête de dent (*cône extérieur*);
Angle de pied de dent (*cône intérieur*);
G (*génératrice du cône primitif*).

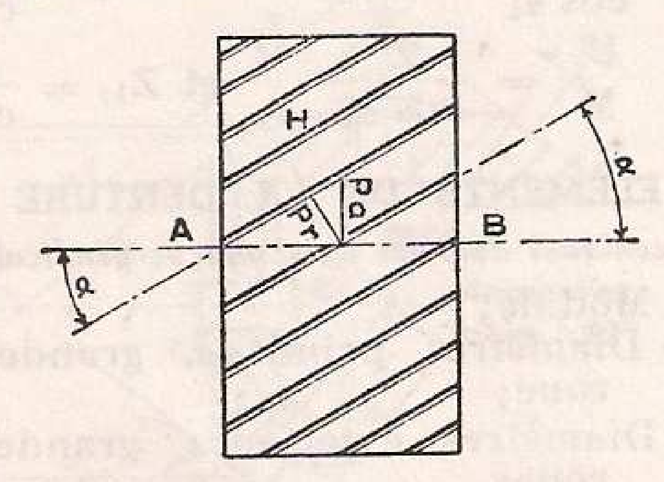
CALCUL des éléments de la denture

Grande roue	Petite roue (Pignon)
$M = \frac{Dp}{Z}$	$M = \frac{dp}{Z_1}$
$Dp = Z \times M$	$dp = Z_1 \times M$
$\text{tg}\ \alpha_1 = \frac{Dp}{dp} = \frac{Z}{Z_1}$	$\text{tg}\ \alpha_2 = \frac{dp}{Dp} = \frac{Z_1}{Z}$
$\text{tg}\ \beta_1 = \frac{2 \times \sin \alpha_1}{Z}$	$\text{tg}\ \beta_2 = \frac{2 \times \sin \alpha_2}{Z_1}$
$\text{tg}\ \gamma_1 = \frac{2{,}5 \times \sin \alpha_1}{Z}$	$\text{tg}\ \gamma_2 = \frac{2{,}5 \times \sin \alpha_2}{Z_1}$
$De = (2\ M \times \cos \alpha_1) + Dp$	$de = (2\ M \times \cos \alpha_2) + dp$
$Rf = \frac{Dp}{2 \cos \alpha_1}$	$rf = \frac{dp}{2 \cos \alpha_2}$
angle de pied de dent $= \alpha_1 - \gamma_1$	angle de pied de dent $= \alpha_2 - \gamma_2$
angle de tête de dent $= \alpha_1 + \beta_1$	angle de tête de dent $= \alpha_2 + \beta_2$

ENGRENAGES HÉLICOÏDAUX

Ces engrenages sont de deux sortes :

1° Engrenages à *axes parallèles*; 2° Engrenages à *axes quelconques* ayant le plus souvent leurs axes perpendiculaires.



ÉLÉMENTS d'une roue hélicoïdale

Mr = module réel (*choisi parmi les modules normalisés*)

Ma = module apparent	Pr = pas réel
Z = nombre de dents	Pa = pas apparent ou oblique
Dp = diamètre primitif	S = saillie et *t* = creux
De = diamètre extérieur	*h* = hauteur de dent
α = inclinaison denture	D_1 = diamètre de tête
P = pas de l'hélice	D_2 = diamètre de pied

CALCUL des éléments de la denture

— Module apparent : obtenu en divisant le module réel par le cosinus de l'angle α d'inclinaison de l'hélice :

$$Ma = \frac{Mr}{\cos \alpha} = \frac{Dp}{Z}$$

— Module réel.... $Mr = Ma \times \cos \alpha$

— Diamètre extérieur. — Le diamètre extérieur est égal au diamètre primitif, plus deux fois le module réel :

$$De = Dp + 2\,Mr \text{ ou } (Ma \times Z) + 2\,Mr$$

— Diamètre du cercle primitif. — Le diamètre primitif est égal au module apparent multiplié par le nombre de dents :

$$Dp = Ma \times Z$$

— Angle d'inclinaison de l'hélice :

$$\text{tg}\ \alpha = \frac{Dp \times \pi}{\text{Pas de l'hélice}}$$

— Pas de l'hélice :

$$P = \frac{Dp \times \pi}{\text{tg}\ \alpha} = Dp \times \pi \times \text{cotg}\ \alpha$$

— Pas réel.... $Pr = \text{Module réel} \times \pi$

— Pas apparent.... $Pa = Ma \times \pi = \frac{Mr \times \pi}{\cos \alpha}$

Saillie s de la dent $= Mr$
Creux t de la dent $= 1{,}25\ Mr$

— Hauteur de la dent........ $h = 2{,}25\ Mr$
— Diamètre de tête........... $D_1 = Dp + 2\ Mr$
— Diamètre de pied.......... $D_2 = Dp - 2{,}5\ Mr$

— Distance d'axes $= \frac{Dp + dp}{2}$

Exemple. — Soit à calculer les principales dimensions d'un engrenage hélicoïdal de 24 dents :
module réel = 4; angle de l'hélice = 20°.
(Tg 20° = 0,36937 et Cos 20° = 0,93969)

$$\text{Mod. apparent} = \frac{Mr}{\cos \alpha} = \frac{4}{\cos 20°} = \frac{4}{0{,}9396} = 4{,}25$$

Pas apparent = 4,25 × 3,1416 = 13,25
Diam. primitif = $Ma \times Z$ de dents = 4,25 × 24 = 102.
Diam. extérieur = $Dp + (2\ Mr) = 102 + (2 \times 4) = 110$

$$\text{Pas de l'hélice } P = \frac{102 \times 3{,}1416}{0{,}36937} = 880 \text{ mm.}$$

Calcul du N° de la fraise :

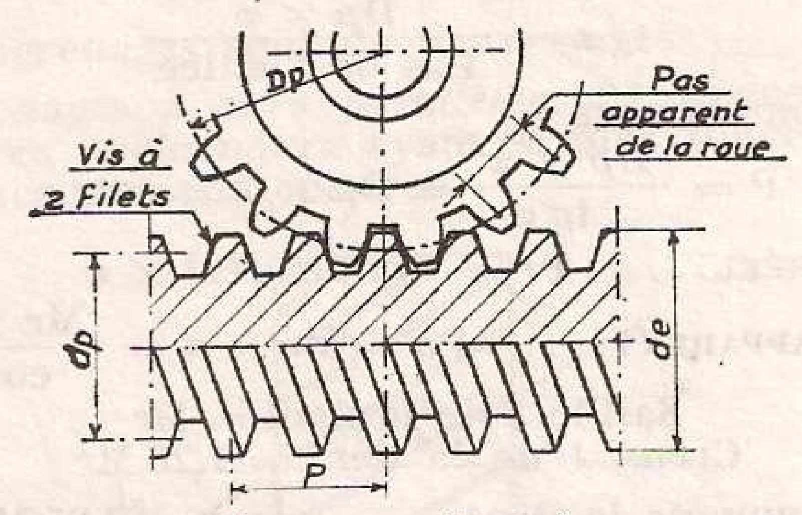
Z_f = Nombre fictif de dents de l'engrenage, permettant le choix du numéro de la fraise à employer.

$$Z_f = \frac{\text{Nombre de dents réel}}{\cos^3 \alpha}$$

Exemple : Z = 16 dents $\alpha = 45°$
cos 45° = 0,7071 $\cos^3 \alpha = 0{,}3521$

$$Z_f = \frac{16}{0{,}3521} = 45 \text{ dents}$$

On utilisera une fraise n° 6, taillant de 35 à 54 dents (*voir tableau page 90*).



Rapport des vitesses : C'est le rapport du NOMBRE DE FILETS n de la vis au NOMBRE DE DENTS Z de la roue.

Exemple. — Une vis sans fin à 2 filets faisant 240 tours, actionne une roue de 40 dents. *Combien de tours fera la roue?*

$$\text{On a : } \frac{n}{Z} = \frac{240 \times 2}{40} = \mathbf{12 \text{ tours}}$$

ROUE. — Calcul des éléments

DONNÉES :	FORMULES :
Module apparent de la roue	*Module oblique de la vis*
Ma = Module apparent	$Ma = \frac{Mr}{\cos \alpha}$
α = Angle d'inclinaison de la denture	α = Egal à l'angle d'inclinaison du filet de la vis
Dp = Diamètre primitif	$Dp = Ma \times Z$
De = Diamètre extérieur	$De = Dp + 2\,Mr$
Di = Diamètre intérieur	$Di = Dp - 2{,}5\,Mr$
Z = Nombre de dents	
P = Pas de l'hélice (roue)	$P = Z \times Pa$ de la vis $= \frac{\pi D \text{ de la roue}}{\text{tg } \alpha}$
Z_f = Nombre de dents fictif de l'engrenage auquel correspond la fraise à employer	$Z_f = \frac{Z}{\cos^3 \alpha}$

Entr'axe = Rayon primitif de la roue + Rayon primitif de la vis.

Vis sans fin. — La section génératrice est trapézoïdale. — *L'angle du profil est 40° suivant une coupe normale aux filets.*

I. Vis sans fin *à un seul filet*

CALCUL DES ÉLÉMENTS

DONNÉES :	FORMULES :
Mr = Module réel	— Module normalisé
Pr = Pas réel (mesuré perpendiculairement à l'hélice).	$Pr = Mr \times \pi$
Po = Pas oblique (distance entre deux filets consécutifs mesurée sur la génératrice du cylindre).	$Po = \dfrac{Pr}{\cos \alpha}$

Pa = *Pas apparent.* — Dans une vis à 1 filet, le pas apparent n'est pas utilisé dans les calculs.

α = Angle d'inclinaison du filet	$\operatorname{tg} \alpha = \dfrac{Po}{\pi\, dp}$
dp = diamètre primitif	dp = 10 à 15 fois le Module réel.
de = diamètre extérieur	$de = dp + 2\, Mr$
df = diamètre à fond de filet	$df = dp - 2{,}5\, Mr$
H = Hauteur des filets	$H = 2{,}25\, Mr$

II. Vis *à plusieurs filets* (n filets)

DONNÉES ET FORMULES

Pr = Pas réel de la vis	$Pr = Mr$ (de la roue) $\times n$.
α = Angle d'inclinaison des filets	$\sin \alpha = \dfrac{Mr \times n \text{ (filets)}}{dp}$
Mo = Module oblique	$Mo = \dfrac{Mr}{\cos \alpha}$
Ma = Module apparent	$Ma = \dfrac{Mr}{\cos \alpha}$
Po = Pas oblique	$Po = \dfrac{Pr}{\cos \alpha} = \dfrac{Mr \times \pi}{\cos \alpha}$
P = Pas de l'hélice	$P = Po \times n$ (filets)

Le *pas apparent* Pa est obtenu en divisant la circonférence primitive de *la roue* par le nombre de dents.

EXEMPLE NUMÉRIQUE. — Soit une vis sans fin à 2 filets. Diamètre primitif $dp = 42$, Module réel $Mr = 3$.

Application des formules :

sin α (angle d'inclinaison des filets)

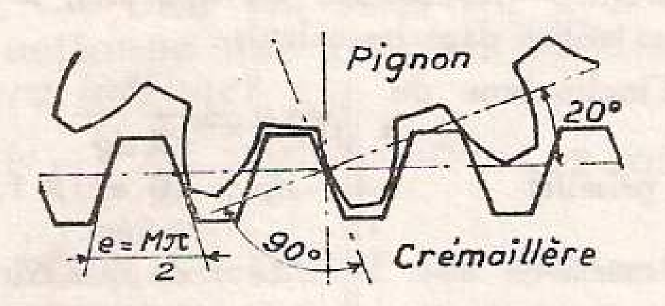
$$= \frac{Mr \times n \text{ (filets)}}{dp} = \frac{3 \times 2}{42} = 0{,}1428 \text{ d'où } \alpha = 8° \, 10'$$

$$\text{Module oblique} = \frac{Mr}{\cos \alpha} = \frac{3}{0{,}98986} = 3{,}035$$

Pas oblique $= 3{,}035 \times \pi = 9{,}534$

Pas de l'hélice $P = 9{,}534 \times 2 =$ **19 mm.**

CRÉMAILLÈRE



— Engrenage rectiligne pouvant engrener avec un pignon (fig. ci-dessus). Le profil des dents de crémaillère est incliné à 70° (complément de l'angle de pression 20°).

— Les flancs des dents de crémaillère correspondant à la denture en développement, sont des lignes droites.

— Le pas P, mesuré entre les axes de deux dents consécutives, est égal au pas circulaire du pignon qui engrène avec la crémaillère.

CALCUL DES ÉLÉMENTS :

Pas d'une crémaillère. . . . . . . = Module $\times \pi$

Hauteur totale de la dent. H = M $\times$ 2,25

Epaisseur de la dent. . . . . . . = $\frac{M \times \pi}{2}$

NOTA. — Le taillage des dents de crémaillère se fait comme indiqué sur le croquis, page 81, ou à l'aide d'un appareil spécial à tailler les crémaillères.

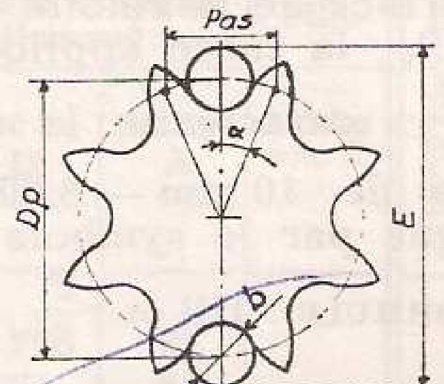
PIGNONS pour chaînes

(à simple rouleau)

— Le taillage s'effectue au moyen de fraises appropriées à profil constant.

Eléments. — Soit :

P = pas de la chaîne (*généralement fonction d'une mesure anglaise*);



Z = nombre de dents du pignon;

D*p* = diamètre primitif du pignon;

D*f* = diamètre fond de dents;

b = diamètre du rouleau;

α = angle d'un demi-pas sur le pignon.



CALCUL DES ÉLÉMENTS. — Formules :

$$\alpha = \frac{180°}{Z} \qquad Df = Dp - b$$

$$Dp = \frac{P}{\sin \alpha} \qquad \text{Diamètre extérieur} = Dp + b$$

Le rayon *r* des fraises utilisées est un peu plus grand que celui des rouleaux.

ENGRENAGES (suite). — *Notes complémentaires*

Machines spéciales employées pour le taillage automatique des engrenages

1° Pour le taillage des engrenages cylindriques droits et hélicoïdaux :

a) Machines à *fraises vis mères;*

b) Machines à *outils-crémaillères*;

c) Machines à *pignons-couteaux.*

2° Pour le taillage des engrenages coniques :

Les machines utilisées sont différentes des machines de taillage employées pour les engrenages cylindriques, le taillage s'effectue :

a) *Par outils-couteaux pour la denture droite;*

b) *Par fraise circulaire pour la denture courbe.*

ESSAIS DE DURETÉ (des métaux).

Essai Brinell. — PRINCIPE : L'essai consiste à imprimer dans le métal, sous une charge P, exprimée en kilogrammes-force, une bille d'acier trempé de diamètre D, et à mesurer le diamètre *d* de l'empreinte laissée sur la surface après enlèvement de la charge. — Si on désigne par Smm^2 la surface de la *calotte sphérique* de l'empreinte, et par P_{kg} la force appliquée sur la bille, le rapport $\frac{Pkgf}{Smm^2}$ caractérise la dureté. Pour l'*essai normal* (bille de 10 mm — 3.000 kgf — 15 s), la dureté se désigne par le symbole HB.

FORMULE : $$HB = \frac{P}{S} = \frac{2\,P}{\pi\,D\,(D - \sqrt{D^2 - d^2})}$$

NOTA : L'indication de la résistance R à la traction en kg/mm^2 peut être obtenue, *approximativement*, en multipliant le nombre de dureté HB par un coefficient K qui varie suivant la composition des aciers. — *Pour les aciers au carbone* (laminés et recuits), *on adopte généralement le coefficient* K = 0,34. — Ainsi, un acier qui présentera une dureté : HB = 241, aura une résistance :

$$R = HB \times 0{,}34 = 241 \times 0{,}34 = \mathbf{82\ kg/mm^2}.$$

Essai Rockwell. — Cet essai mesure l'accroissement de la profondeur de pénétration : soit d'une bille en acier de diamètre 1/16 de pouce sous une charge de 100 kg (*dureté Rockwell* B — 100), soit d'un pénétrateur conique (en diamant) de 120° d'angle, sous une charge de 150 kg, de 100 ou de 60 kg (*dureté Rockwell*) C — 150 ou D — 100 ou A — 60.

Essai Vickers. — On mesure sur la pièce la diagonale de l'empreinte, obtenue à l'aide d'un diamant (*pyramide à base carrée dont l'angle au sommet à 136°*). La dureté Vickers est :

$$HV = \frac{P}{S} = \frac{2\,P \sin \frac{136^\circ}{2}}{d^2} = 1{,}8544\,\frac{P}{d^2}$$

NOTA. — Le symbole HV est complété par un indice comportant l'indication de la charge.

TABLEAU DE CORRESPONDANCE

DE DIVERS SYSTÈMES DE MESURE DES DURETES

Relations entre le diamètre d de l'empreinte de bille, la résistance R et le nombre Brinell HB

DURETÉ BRINELL Bille de 10 mm Charge 3.000 kgf			DURETÉ ROCKWELL				VICKERS FIRTH HV
			Pénétrateur conique (en diamant)			Bille	
d en mm	HB	R kg/mm²	150 kg C	100 kg D	60 kg A	100 kg éch. B	
2,45	626	213	61	72	82		729
2,50	600	204	59	71	81		681
2,55	578	197	58	69	80		659
2,60	556	189	56	68	79		618
2,65	532	181	54	67	78		580
2,70	512	174	52	65	77		546
2,75	495	168	51	64	76		530
2,80	477	162	49	63	75		501
2,95	430	146	45	60	73		448
3,25	351	119	38	54	69		369
3,40	321	109	35	52	68		343
3,60	286	97	30	49	66		302
3,75	262	89	27	46	64		279
3,90	241	82	24	44	63	100	258
4	228	78	22	42	62	98	245
4,10	217	74	20	41	61	97	234
4,20	207	70	18	39	60	95	228
4,3	196	67		37	58	93	
4,45	183	62		34	56	89	
4,6	170	58		32	55	86	
4,75	159	54			53	84	
4,8	156	53			52	82	
5	143	49			50	76	
5,15	134	46				74	
5,30	126	43				69	
5,40	121	41				67	
5,50	117	39				65	
5,60	110	38				62	
5,70	107	36				59	

En dehors de la puissance de la machine-outil employée, les facteurs desquels dépendent les conditions d'utilisation de l'outil sont :

1° La nature du métal usiné;

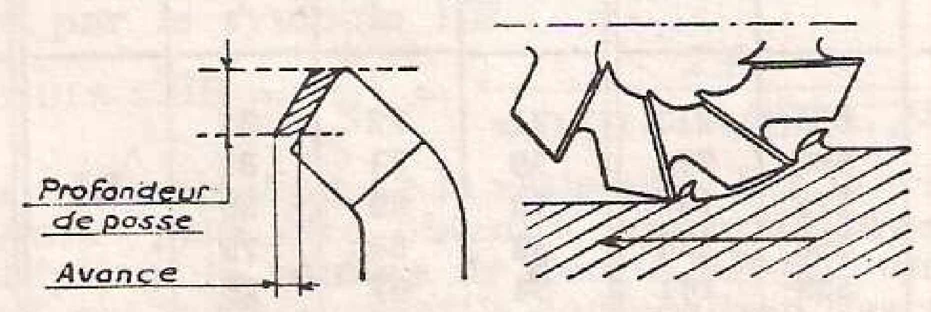
2° La composition chimique et le traitement de l'outil;

3° L'affûtage de l'outil et sa position par rapport à la pièce;

4° La lubrification au cours du travail;

5° Les caractéristiques d'usinage : *section du copeau* et *vitesse de coupe*.

CARACTÉRISTIQUES D'USINAGE



VITESSE DE COUPE :

Distance (*exprimée en mètres*) parcourue (*pendant une minute*), par un point de l'arête tranchante de l'outil en contact avec la surface de la pièce qu'il usine. — Symbole V*m/mn.*

TOURNAGE :

PROFONDEUR DE PASSE. — Demi-différence des diamètres de la pièce après le passage de l'outil. On appelle AVANCE le déplacement de l'outil pour un tour de la pièce.

FRAISAGE :

L'AVANCE. — Distance exprimée en *mm* dont se déplace une pièce sous les arêtes tranchantes de la fraise pendant *1 minute*.

Le choix de l'avance à adopter dépend :

a) **De la qualité de l'état de surface cherché;**

b) **De la résistance de la denture.**

RABOTAGE :

La vitesse de coupe V est donnée (*approximativement*) par la formule suivante :

$V = 2\,cn$ { V : vitesse en m/mn ; c : course, en *mètre*, de l'outil ou de la pièce ; *n* : nombre de courses par minute.

VITESSE CIRCONFÉRENTIELLE

Dans le mouvement circulaire uniforme, la vitesse de coupe V est donnée par la formule :

$$V = \pi . D . n$$

V : Vitesse de coupe en *mètres par minute*;
D : diamètre de la pièce ou de l'outil;
n : nombre de *tours par minute.*

$$\text{d'où : } n = \frac{V}{\pi D}$$

TEMPS DE COUPE EN *minutes :*

$$Tmn = \frac{l}{a \times n} \quad \begin{cases} l = \text{longueur à usiner;} \\ a = \text{avance par tour;} \\ n = \text{nombre de tours.} \end{cases}$$

1° *Tournage.* — Une pièce ayant 50 mm de diamètre tourne à 860 tours par minute, sa vitesse de coupe V est égale à :

$$V = 3{,}1416 \times 0{,}05 \times 860 = 135 \text{ m/mn.}$$

2° *Fraisage.* — *Vitesse de coupe :* Si D est le diamètre de la fraise exprimé en mm, et n le nombre de tours par minute de la fraise :

$$V \text{ m/mn} = \frac{\pi \times D \times n}{1.000}$$

3° *Rabotage.* — La vitesse de coupe d'un étau-limeur à retour deux fois plus rapide que l'aller, peut se calculer d'après la formule :

$$V = \frac{3}{2} cn \quad \begin{cases} c = \text{longueur de course,} \\ n = \text{nombre de courses (aller et retour).} \end{cases}$$

VITESSE ANGULAIRE. — L'unité de vitesse angulaire est le *radian* (1) par *seconde* (rd/s).

Le nombre n de tours étant connu en une minute, la vitesse angulaire ω en une seconde est égale à :

$$\omega = \frac{2 \pi n}{60} = \frac{\pi n}{30}$$

Application. — Vitesse angulaire ω d'un volant tournant à 1.200 *tr/mn* :

$$\frac{3{,}14 \times 1.200}{30} = 125{,}6 \text{ rd/s}$$

(1) Voir **Unité d'arc**, page 9.

OUTILS *D'USAGE COURANT*

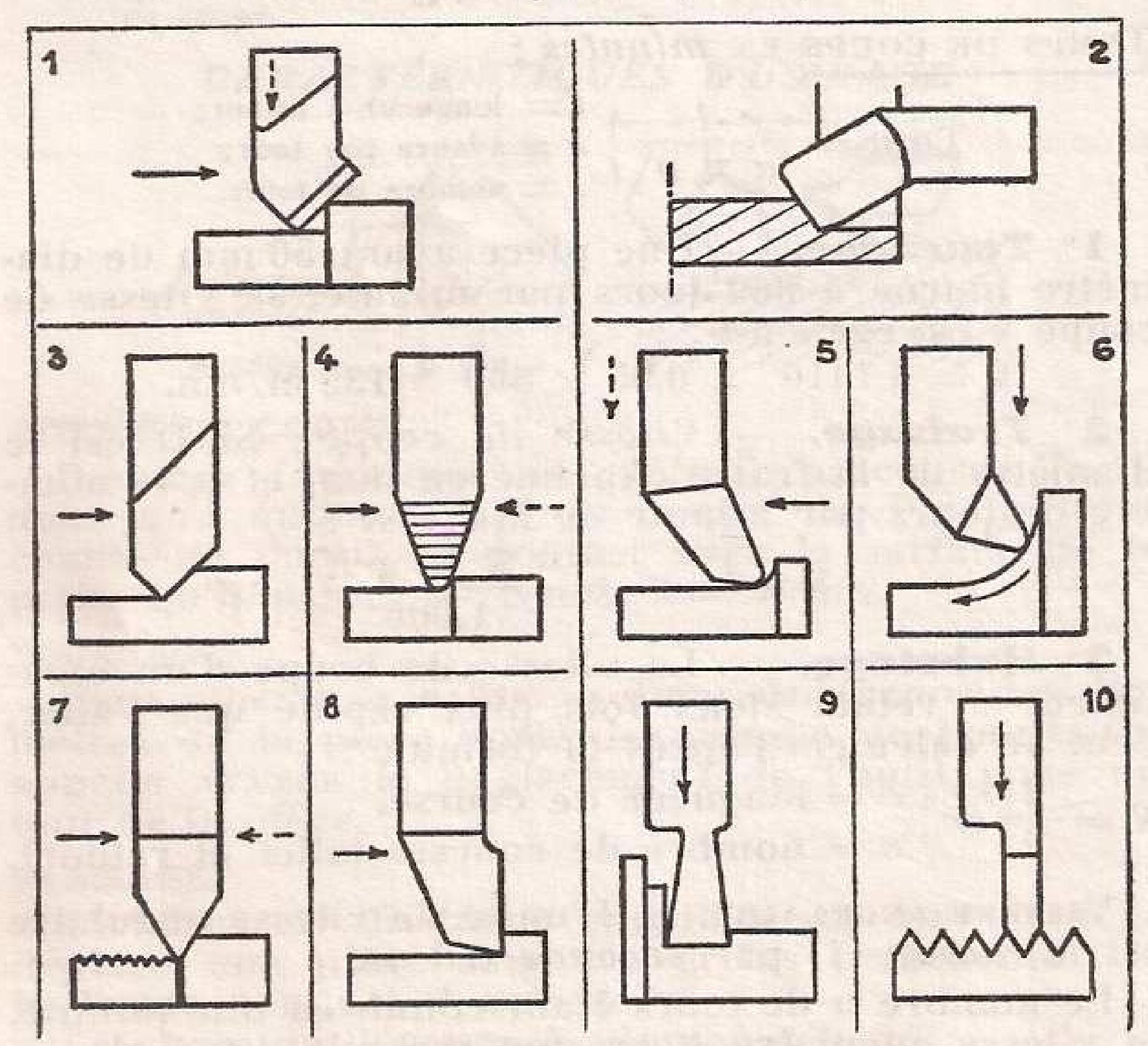
pour travaux de tournage et de rabotage

OUTILS PRÉCONISÉS PAR LES NORMES **NF**

(*Normes françaises*) E 66-311 à E 66-324

Exemples de désignation d'outils usuels :

1. Outil a charioter et dresser;
2. Outil a aléser;
3. Outil a charioter (dégrossir);
4. Outil symétrique (à finir);



5. Outil a raccorder et dresser;
6. Outil a raccorder coudé;
7. Outil symétrique (à écrouter);
8. Outil couteau latéral;
9. Outil a tronçonner;
10. Outil a fileter extérieurement.

Nota. — Les **valeurs pratiques** des angles caractéristiques des outils sont données pages 108 et 110.

LES ACIERS A *COUPE RAPIDE*

Composition. — Ce sont des aciers spéciaux qui contiennent du chrome (*maximum* 6 %), du tungstène (de 14 à 22 %) et un ou plusieurs éléments : *cobalt, molybdène, vanadium.*

CLASSIFICATION DES ACIERS RAPIDES :

Aciers ordinaires A.R.O. contenant de 14 à 16 % de tungstène;
Aciers supérieurs A.R.S. contenant de 17 à 22 % de tungstène;
Aciers extra-sup^rs A.R.E.S. contenant de 20 à 22 % de tungstène.

Ces derniers aciers contiennent en outre de 5 à 12 % de cobalt.

NOTA. — Les aciers rapides sont auto-trempants; ils ont la propriété de conserver leur pouvoir de coupe jusqu'à une température voisine de 550°.

NOTES RELATIVES AU FAÇONNAGE DES OUTILS A COUPE RAPIDE

Forgeage. — Le forgeage s'exécute en un minimum de *chauffes,* le martelage doit cesser quand la température est descendue au-dessous de 900°.

REMARQUE. — Chaque chauffe doit être conduite : à ALLURE LENTE jusqu'à la température de 700°, ensuite à ALLURE RAPIDE jusqu'à celle de 1.000 à 1.100°.

Evaluation des températures de chauffe

COLORATION	Degrés	COLORATION	Degrés
Rouge naissant...	500°	Cerise clair.......	1.000°
Rouge sombre....	700°	Orange foncé.....	1.100°
Cerise naissant...	800°	Orange clair......	1.200°
Cerise...........	900°	Blanc...........	1.300°

Extrait du tableau principal, page 135.

Trempe. — La trempe s'effectue à l'air soufflé, au pétrole ou à l'huile.

REMARQUE. — Le chauffage de la partie à tremper se fait en deux temps : LENTEMENT jusqu'à la température de 800°, puis RAPIDEMENT jusqu'à celle de 1.250° à 1.300°.

Température de recuit : 830° (environ).

LES CARBURES *MÉTALLIQUES*

(Agglomérés de cobalt, de tungstène, de titane, de bore)

Ces carbures, obtenus par un traitement thermique spécial appelé *frittage*, sont utilisés sous forme de plaquettes ou « *mises* ». Ces dernières sont rapportées sur le corps de l'outil et fixées par brasage à l'aide d'une *poudre spéciale* à braser.

OUTILS DE TOUR pastillés de carbure métallique

— ANGLES — CARACTÉRISTIQUES
- *a*, angle de dépouille.
- *b*, pente d'affûtage.
- *d*, angle tranchant.

$$a + b + d = 90°$$

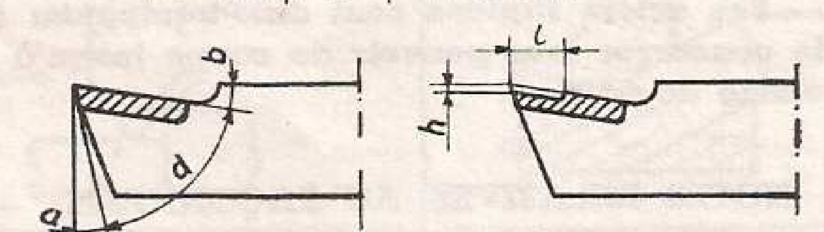


Fig. 1 Fig. 2

Valeurs des angles *a* et *b*

Métaux et alliages à usiner	Résistance R kg/mm²	Angle de dépouille a	Pente d'affûtage b
Acier	jusqu'à 50 kg	6°	22 à 25°
	50 à 60 kg	6°	18 à 20°
	60 à 70 kg	6°	15 à 18°
	70 à 80 kg	5°	12 à 15°
	80 à 95 kg	5°	10 à 12°
Fonte grise	....	6°	8 à 10°
Bronzes divers	....	7°	5 à 6°
Aluminium, duralumin	....	8°	25 à 30°

Brise-copeaux (*fig.* 2). — Pour l'usinage des *aciers* seulement, on pratique, sur la face d'attaque de l'outil, un affûtage approprié.

La longueur *l* du brise-copeaux varie suivant la nature de l'acier et suivant la charge de passe :

Pour acier jusqu'à 50 kg/mm²..... *l* = 3,5 mm
— — 55 à 75 kg/mm²........ *l* = 3 mm
— — 80 à 95 kg/mm²........ *l* = 2,5 mm

REMARQUE. — La « profondeur » ou « hauteur » du brise-copeaux ne varie pas, elle est de 0,5 mm (environ).

NOTE relative aux vitesses de coupe
DES OUTILS EN CARBURE

— Différents carbures étant utilisés pour l'usinage des métaux, il existe, pour chaque *nuance* de carbure et pour chaque métal, des vitesses *maxima* et *minima* qui constituent les *vitesses limites* d'utilisation.

VITESSES DE COUPE PRATIQUES
RELATIVES AU TOURNAGE

MÉTAUX A USINER	Ebauche	Finition
Acier 60 à 70 kg/mm^2.	130 à 150 m/mn	150 à 200 m/mn
— 70 à 80 kg/mm^2.	100 à 120 m/mn	120 à 160 m/mn
— 80 à 95 kg/mm^2.	80 à 100 m/mn	100 à 120 m/mn
— 95 à 110 kg/mm^2.	60 à 80 m/mn	80 à 100 m/mn
— 110 à 140 kg/mm^2.	50 à 70 m/mn	70 à 90 m/mn
AVANCES DE TRAVAIL (avance en mm par tour)	**Ebauche**	**Finition**
Chariotage...........	0,3 à 0,4 mm	0,05 à 0,1 mm
Alésage...............	0,1 à 0,15 mm	0,05 à 0,1 mm
Profondeur de passe...	5 à 6 mm	0,3 à 0,5 mm
Fonte grise...........	70 à 90 m/mn	90 à 110 m/mn
Fonte malléable.......	55 à 70 m/mn	70 à 80 m/mn
Fonte dure............	15 à 20 m/mn	20 à 25 m/mn
Laiton................	350 à 400 m/mn	400 à 500 m/mn
Bronzes.............	150 à 200 m/mn	250 à 300 m/mn
Aluminium.............	800 à 1000 m/mn	1000 à 1200 m/mn

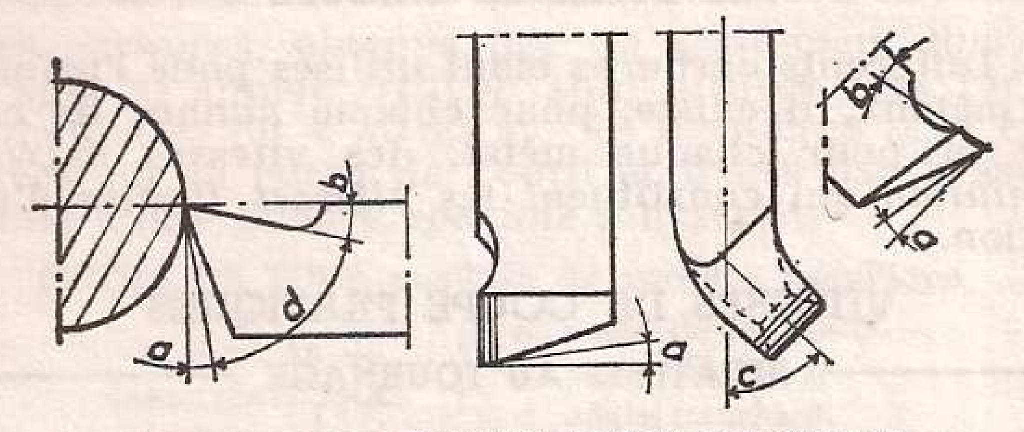
OUTILS DE COUPE en céramique
PRINCIPAL COMPOSANT : Alumine frittée

VITESSES DE COUPE. — Quelques notes :

En règle générale, les vitesses de coupe pour les outils céramiques, utilisés sous forme de *plaquettes* fixées mécaniquement sur des porte-outils, sont environ de 50 % plus élevées que celles admises pour les carbures métalliques.

— La RIGIDITÉ des organes de la machine-outil utilisée et du porte-outil, est indispensable à l'emploi de ces nouveaux outils.

ANGLES CARACTÉRISTIQUES D'UN OUTIL EN ACIER A COUPE RAPIDE



OUTILS DE TOURNAGE ET DE RABOTAGE

a, angle de dépouille.
b, pente d'affûtage.
d, angle tranchant.

$a + b + d = 90°$.
c) angle de direction.

Valeurs des angles *a* et *b*

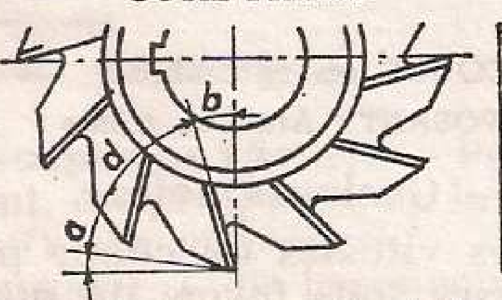
MÉTAUX ET ALLIAGES A USINER	Angle de dépouille a	Pente d'affûtage b
Acier jusqu'à 50 kg/mm²	6°	22 à 25°
— de 50 à 60 kg/mm²	6°	18 à 20°
— de 60 à 70 kg/mm²	6°	15 à 18°
— de 70 à 80 kg/mm²	5°	12 à 15°
— de 80 à 95 kg/mm²	5°	10 à 12°
Fonte grise	6°	8 à 10°
Bronze, laiton	7°	5 à 6°
Aluminium, duralumin	8°	25 à 30°

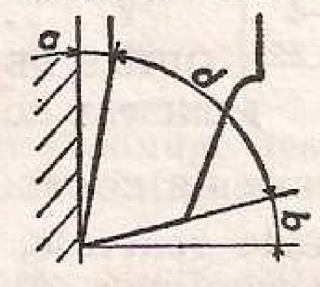


OUTIL FRAISE



OUTIL A MORTAISER





I. Fraise *à denture fraisée*. — Pente d'affûtage *b* : 8° à 25° (suivant métal à usiner); valeur moyenne : 10°.

Angle de dépouille *a* : variable entre 4° et 10°.

II. Fraise *à profil constant*. — Angle *b* : 0°.

Outil *à mortaiser*. — Angle *a* : 5°; angle *b* : 10 à 12°.

CONDITIONS DE COUPE

D'UN OUTIL EN ACIER A COUPE RAPIDE

Vitesse de moindre usure Vo. — Cette vitesse permet de faire produire à l'outil le maximum de débit avant que son réaffûtage soit nécessaire.

Vitesse économique Ve. — Cette vitesse permet d'exécuter un travail dans un minimum de temps.

D'après les expériences du commandant Denis, la vitesse économique peut prendre la valeur suivante :

$$Ve = Vo + 1/3\ Vo = 4/3\ Vo$$

Tableau des vitesses de coupe

CONDITIONS DE BASE : Travaux d'ébauche *à sec*. Emploi d'outils en acier rapide ordinaire A.R.O.

Pour le tournage : Profondeur de passe, 5 mm. Avance par tour de la pièce, 0,5 mm.

Pour le fraisage : Somme des largeur et profondeur de passe, 50 mm. Avance par tour de fraise et par dent, 0,05 mm.

MÉTAUX A USINER	TOURNAGE		FRAISAGE	
	Vitesse de moindre usure en m/mn	Vitesse économique en m/mn	Vitesse de moindre usure en m/mn	Vitesse économique en m/mn
Acier à 40 kg..	26	35	15	20
— à 50 kg..	22	29	14	19
— à 60 kg...	17	23	13	17
— à 70 kg...	12	16	11	14
Fonte grise.....	27	36	16	21
Laiton.........	60	75	28	38

Corrections à apporter aux conditions de base : L'emploi d'outils en acier rapide supérieur A.R.S., avec lubrification abondante des aciers à usiner, permet d'augmenter les vitesses du tableau ci-dessus de 25 à 50 %.

TABLEAU
DE VITESSES CIRCONFÉRENTIELLES

en fonction

1° du diamètre; 2° du nombre de tours.

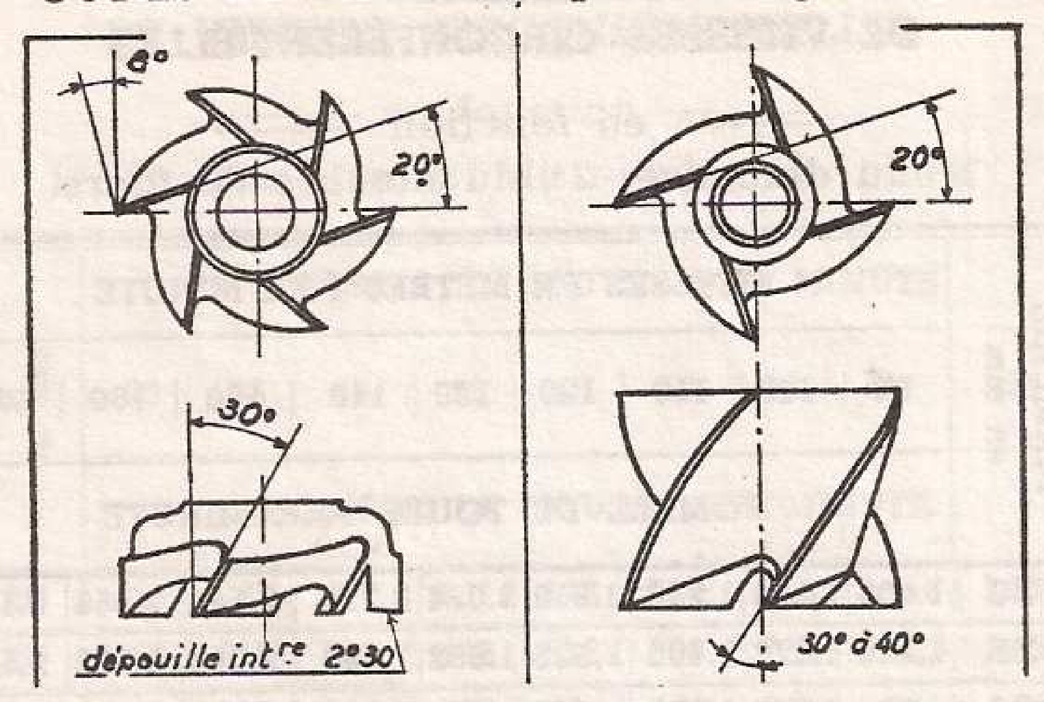
DIAMÈTRE en mm	VITESSES EN MÈTRES PAR MINUTE								
	20	25	30	35	40	50	60	70	80
	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE								
20	318	397	477	557	636	795	956	1.118	1,277
25	256	318	383	446	512	636	764	892	1.022
30	212	265	318	371	424	530	636	742	848
35	182	227	272	318	363	454	545	636	730
40	160	200	238	280	318	397	480	556	640
45	142	176	212	247	282	352	424	495	565
50	127	160	190	222	254	318	382	445	510
55	116	145	173	203	232	288	346	406	465
60	106	132	158	185	212	265	318	370	422
70	90	113	136	160	182	227	272	318	365
80	80	100	120	140	160	200	240	280	320
90	72	88	106	123	142	176	212	250	282
100	64	80	95	112	127	160	192	222	254
110	57	72	86	101	115	144	173	202	230
120	53	65	78	92	105	130	156	184	210
130	48	60	72	84	97	120	145	170	192
140	45	56	67	78	90	110	136	158	180
150	42	53	63	74	84	106	127	148	168
160	40	50	60	70	80	100	120	140	160
170	38	47	57	66	76	95	114	133	152
180	36	45	54	63	72	90	108	126	144
190	34	42	51	59	68	85	102	119	136
200	32	40	48	56	64	80	96	112	128

TABLEAU
DE VITESSES CIRCONFÉRENTIELLES

en fonction
1° du diamètre; 2° du nombre de tours.

DIAMÈTRE en mm	VITESSES EN MÈTRES PAR MINUTE								
	90	100	110	120	130	140	160	180	200
	NOMBRE DE TOURS PAR MINUTE								
20	1.436	1.595	1.750	1.918	2.074	2,236	2.544	2.856	3.190
25	1.146	1.276	1.400	1,525	1.652	1,780	2.044	2.292	2.544
30	954	1.037	1.196	1.272	1.380	1.484	1.700	1.908	2.074
35	818	912	1.000	1.090	1.180	1.272	1.464	1.640	1.824
40	716	800	874	954	1.034	1.112	1.280	1.440	1.600
45	636	710	776	848	918	990	1.128	1.264	1.420
50	572	638	700	762	826	890	1.020	1.152	1.276
55	520	580	636	692	752	808	930	1.040	1.156
60	477	520	582	636	688	742	840	950	1.042
70	410	456	500	544	590	636	736	832	912
80	358	400	436	476	516	556	640	720	800
90	318	355	388	424	460	495	564	634	710
100	286	320	350	382	413	445	512	572	638
110	260	290	318	346	376	404	464	520	580
120	236	260	291	318	344	368	420	472	524
130	218	242	264	290	320	340	384	436	484
140	200	227	250	273	296	318	360	400	448
150	190	212	232	254	276	296	340	376	424
160	180	200	220	240	260	280	320	360	400
170	172	190	208	228	244	266	304	342	380
180	162	180	198	216	230	247	283	318	353
190	153	170	184	200	218	234	268	317	334
200	143	160	175	190	206	223	255	286	318

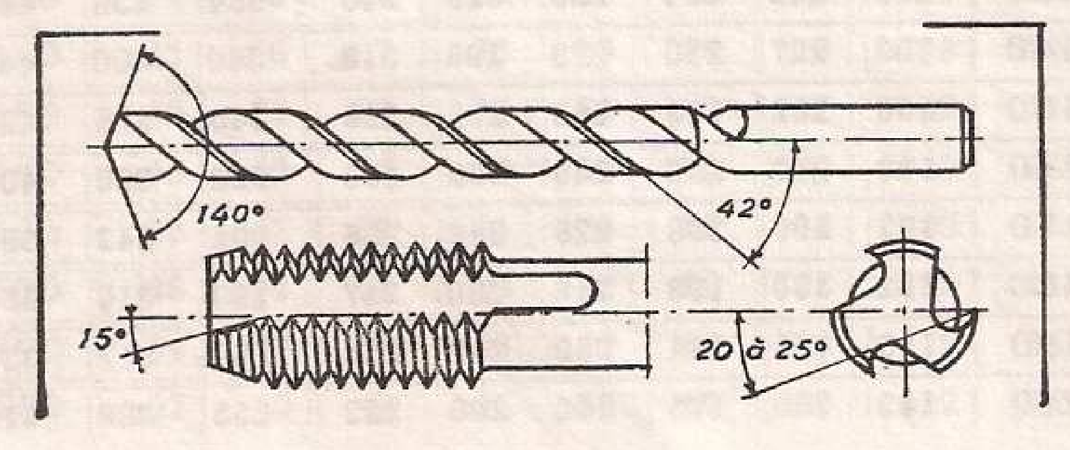
OUTILS DE FRAISAGE pour alliages légers



VITESSES DE COUPE en mètres par minute

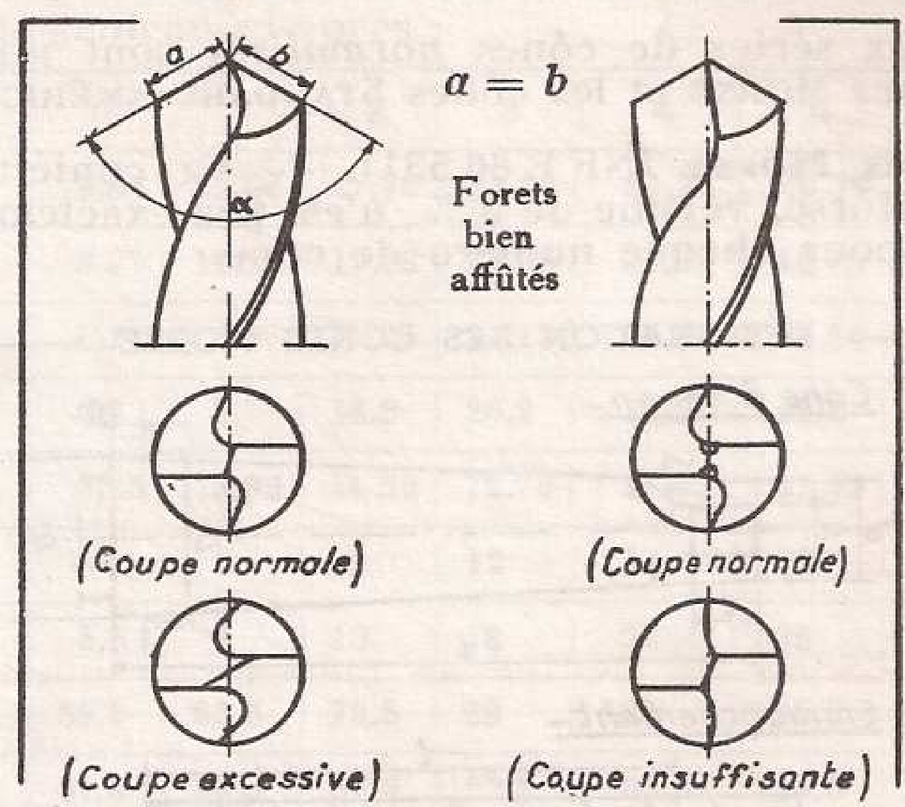
ALLIAGES A USINER	FRAISAGE DE FACE — FRAISES — en acier rapide supérieur A.R.S. Ebauche	Finition	à lames rapportées en carbure métallique Ebauche	Finition	FRAISAGE DE PROFIL
Aluminium....	400	600	600	1.000	400 — 600
Duralumin....	300	500 à 600	500	800	300 — 400
Alpax: 10-13 %	150	250	200	300	150 — 300

FORET ET TARAUD SPÉCIAUX POUR ALLIAGES LÉGERS



FORETS HÉLICOÏDAUX

ANGLES DES ARÊTES $\alpha = 120°$



VITESSES DE ROTATION ET AVANCES

à donner aux forets en acier rapide supérieur suivant leur diamètre et les métaux à usiner

Diamètre des forets en mm	MÉTAUX A USINER							
	ACIER 35 à 45 kg		ACIER 50 à 60 kg		ACIER 70 à 80 kg		FONTE	
	Nombre de tours par minute	Avance en mm par tour	Nombre de tours par minute	Avance en mm par tour	Nombre de tours par minute	Avance en mm par tour	Nombre de tours par minute	Avance en mm par tour
14	640	0,24	530	0,14	360	0,10	530	0,22
16	560	0,26	470	0,15	310	0,11	470	0,26
18	500	0,28	410	0,17	280	0,12	410	0,30
20	460	0,30	380	0,18	250	0,13	380	0,33
22	410	0,32	340	0,19	230	0,14	340	0,37
25	360	0,35	300	0,21	200	0,16	300	0,44
28	320	0,37	270	0,23	180	0,17	270	0,50
30	300	0,39	250	0,24	160	0,18	250	0,58

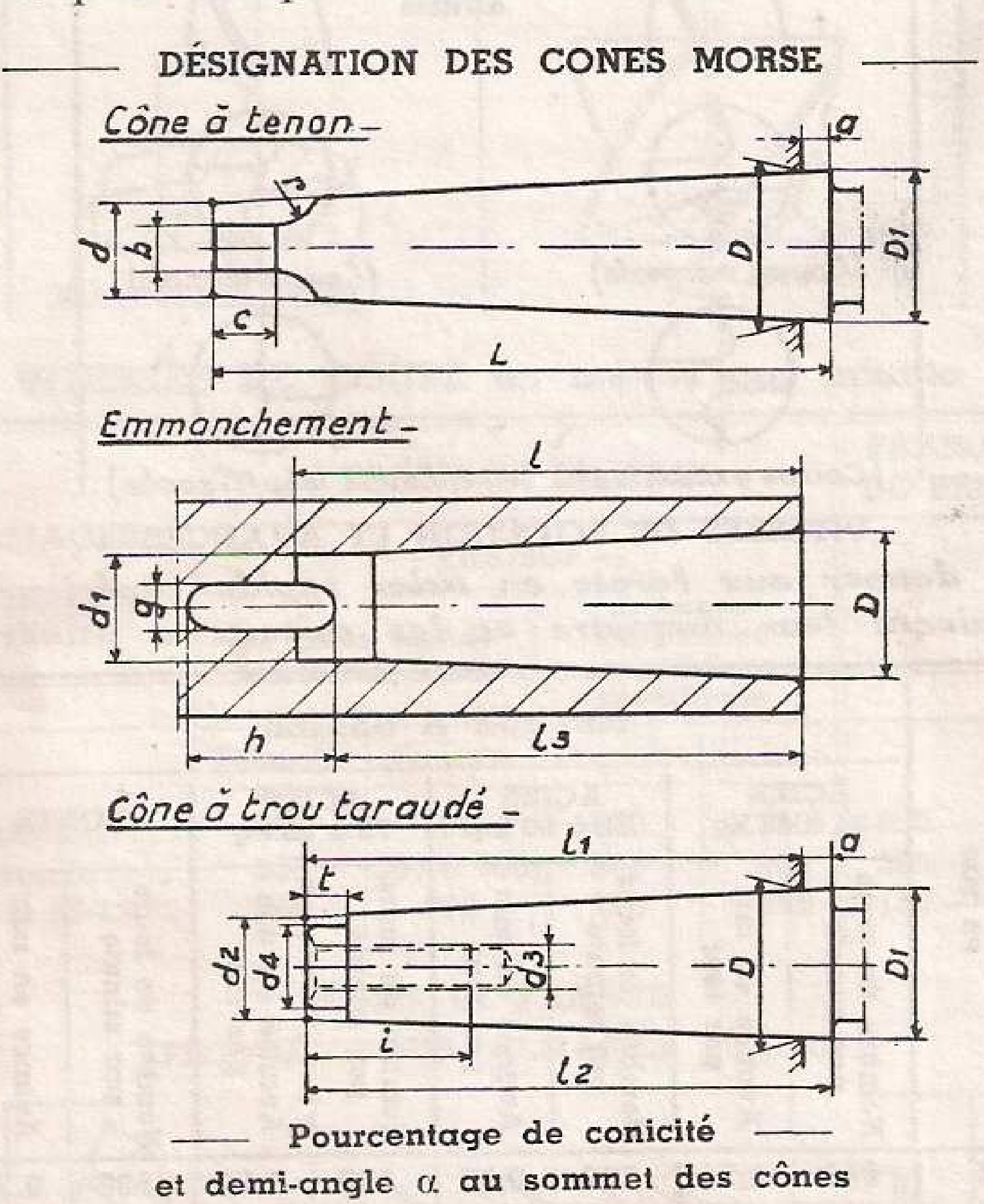
CONES

d'emmanchement d'outils

— Deux séries de cônes *normalisés* sont utilisés : les cônes MORSE et les cônes STANDARD AMÉRICAIN.

Cônes Morse (NF E 66.531). — La conicité des cônes Morse, voisine de 5 %, n'est pas exactement la même pour chaque numéro de cône.

DÉSIGNATION DES CONES MORSE



Pourcentage de conicité et demi-angle α au sommet des cônes

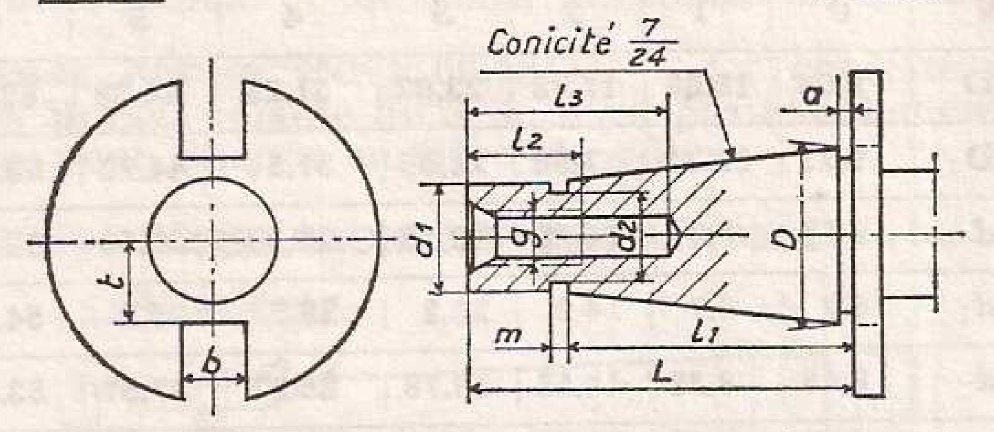
Nos	0	1	2	3	4	5	6
Conicité %	5,205	4,988	4,995	5,019	5,193	5,262	5,213
½ angle	1°29′26″	1°25′43″	1°25′50″	1°26′14″	1°29′14″	1°30′25″	1°29′34″

— Les dimensions des **cônes Morse** sont données dans le tableau ci-après :

Nos	0	1	2	3	4	5	6
D	9,04	12,06	17,78	23,82	31,26	44,39	63,34
D_1	9,21	12,24	17,98	24,05	31,54	44,73	63,76
d	6,11	8,97	14,06	19,13	25,15	36,54	52,42
d_1	6,7	9,7	14,9	20,2	26,5	38,2	54,8
d_2	6,45	9,39	14,58	19,78	25,93	37,57	53,90
d_3	—	6	10	12	14	16	20
d_4	5,5	8	13	18	24	35	50
L	59,5	65,5	78,5	98	123	155,5	217,5
l	51,9	55,5	66,9	83,2	105,7	134,5	187,1
l_1	49,8	53,5	64	80,5	102,7	129,7	181,1
l_2	53	57	68	85	108	136	189
l_3	49	52	63	78	98	125	177
a	3,2	3,5	4	4,5	5,3	6,3	7,9
b	3,9	5,2	6,3	7,9	11,9	15,9	19
c	6,4	9,5	11,1	14,3	15,9	19	28,6
g	4,1	5,4	6,6	8,2	12,2	16,2	19,3
h	14,5	18,5	22	27,5	32	37,5	47,5
i	—	18	26	30	35	40	45
r	4	5	6	7	9	11	17
t	2,5	3	4	4	5	6	7

NOTA. — Pour les fraises et arbres porte-fraises, la norme E 66-201 préconise l'emploi des cônes Morse nos 3 et 4 et des cônes Standard américain, dont les dimensions sont données page suivante.

Conicité : 7/24 = 29,16 % (*environ*)
α = 8° 17′ 45″ (1/2 angle au sommet)



Dimensions des cônes Standard américain

Désignation	D	d_1	d_2	L max.	l_1	g
30 (1″ 1/4)	31,75	17,4	16	70	50	12
40 (1″ 3/4)	44,45	25,32	24	95	67	16
45 (2″ 1/4)	58	31,5	30	118	88	16
50 (2″ 3/4)	69,85	39,6	38	130	102	24

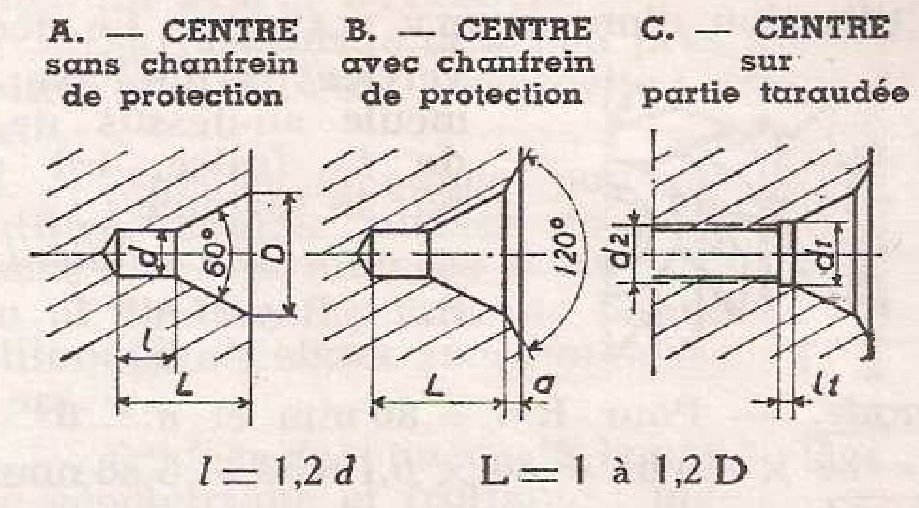
(Suite des dimensions)

Désignation	l_2	l_3	a	m	b	t
30 (1″ 1/4)	24	50	1,6	3	15,9	16
40 (1″ 3/4)	30	60	1,6	5	15,9	22,5
45 (2″ 1/4)	30	60	2	5	20	29
50 (2″ 3/4)	45	90	3,2	8	25,4	35

(D'après NF E 66-201)

Les centres d'usinage sont normalisés. — Les dimensions caractéristiques sont : LE DIAMÈTRE DE L'AVANT-TROU ET CELUI DE LA FRAISURE.

A. — CENTRE sans chanfrein de protection | **B. — CENTRE** avec chanfrein de protection | **C. — CENTRE** sur partie taraudée



$l = 1{,}2\,d \qquad L = 1 \text{ à } 1{,}2\,D$

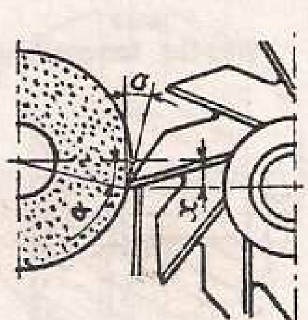
DIAMÈTRE nominal d	D : fraisure min.		l min.	a approximatif	Minimum de L pour D min.	Minimum de L pour D max.
0,5	1	1,2	0,6	0,2	1	1,2
0,75	1,5	2	1	0,3	1,6	2
1	2	2,5	1,2	0,4	2	2,5
1,5	3	3,8	1,8	0,6	3	3,8
2	4	5	2,4	0,8	4	5
2,5	5	6,3	3	0,9	5,2	6,3
3	6	7,5	3,6	1	6,2	7,5
4	8	10	4,8	1,2	8,3	10
5	10	12,5	6	1,5	10,3	12,5
6	12	15	7,2	1,9	12,4	15

NOTA. — Il n'existe pas de relation normalisée entre le diamètre de la pièce à tourner et le diamètre nominal *d* du foret à centrer. — **Le tableau suivant peut être interprété comme un guide approximatif.**

DIAMÈTRE des pièces en mm	4 à 7	8 à 15	16 à 25	26 à 40	41 à 80	81 à 120	121 à 160	161 à 200
Diamètre nominal ***d*** du foret	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6

I. Effectué sur machine appropriée, l'affûtage des fraises à denture fraisée, se fait sur la périphérie de la denture de deux façons différentes :

a) Utilisation d'une MEULE PLATE. — Le décalage vertical x de l'axe de la meule au-dessus de l'axe de la fraise, est donné par la formule :



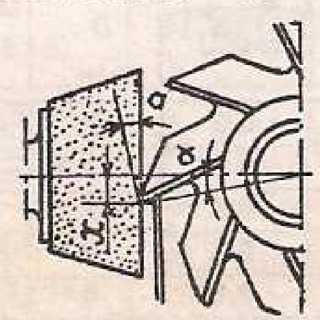
$$x = Rm \times \sin a^{(1)}$$

R*m* : Rayon de la meule;
a : angle de dépouille.

Exemple. — Pour R*m* = 80 mm et $a = 6°$

$$x = 80 \times \sin 6° = 80 \times 0{,}10453 = 8{,}36 \text{ mm.}$$

b) Utilisation d'une MEULE BOISSEAU. — L'extrémité de la *touche* se place au-dessous du plan horizontal passant par l'axe de la fraise d'une quantité x donnée par la formule :



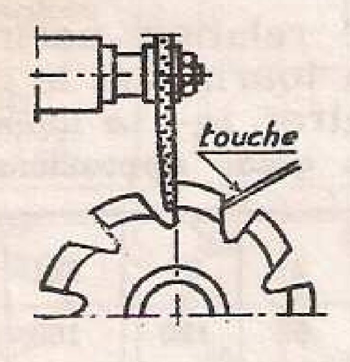
$$x = Rf \times \sin a^{(1)}$$

R*f* : Rayon de la fraise;
a : angle de dépouille.

Exemple. — Pour R*f* = 40 mm et $a = 5°$

$$x = 40 \times \sin 5° = 40 \times 0{,}08716 = 3{,}48 \text{ mm.}$$

(1) $a = \alpha$ (angles ayant leurs côtés perpendiculaires).



II. L'affûtage des fraises à profil constant se fait à l'aide d'une meule assiette sur la face avant ou *face d'attaque* de la denture (le plan de la face coupante passant par le centre de la fraise).

NOTA. — L'outil fraise (dont la durée est prolongée lorsque le réaffûtage est fait avant une usure trop marquée), ne peut fournir un bon rendement qu'autant qu'il est bien entretenu de forme et d'affûtage.

INDICATIONS D'USINAGE

Signes normalisés de façonnage :

FIG. 1. — Absence de signe : surface brute, pouvant présenter un aspect irrégulier.

FIG. 2. — Surface brute et à peu près unie, pouvant nécessiter une retouche éventuelle : *ébarbage, meulage,* etc.

FIG. 3. — Surface façonnée, pouvant être utilisée comme surface de contact pour des assemblages fixes.

FIG. 4. — Surface façonnée de bonne correction géométrique : *assemblages fixes précis.*

FIG. 5. — Surface façonnée, de bonne qualité géométrique et frottante : *pièces ajustées* (mobiles).

1
∼ 2
▽ 3
▽▽ 4
▽▽▽ 5

Symboles d'usinage		Indication
Demi-calibré.	Ca/2	*acier étiré*
Calibré	Ca	*pièces de précision*
Tourné	T	*parties de pièces*
Usiné.	U	*usiné complètement*
Décolleté	D	*pièces décolletées*

DIMENSIONS LINÉAIRES NOMINALES
(Recommandées)

— La norme E 01.001 fixe les *dimensions linéaires nominales* pour la mécanique, entre 1 et 500.

Ces dimensions figurent dans le tableau ci-après :

1	2,5	6	16	40	100	250
1,1	2,8	7	18	45	110	280
1,2	3	8	20	50	125	315
1,4	3,5	9	22	56	140	355
1,6	4	10	25	63	160	400
1,8	4,5	11	28	70	180	450
2	5	12	32	80	200	500
2,2	5,5	14	36	90	220	

MESURES ANGLAISES
USITÉES EN MÉCANIQUE

VALEURS ENTIÈRES DE POUCES ET FRACTIONS DE POUCE en mm

1″ (*pouce*) VALEUR PRATIQUE = 25,4 mm (normalisé)

Fractions de pouce	0″ pouce	1″ pouce	2″ pouces	3″ pouces	4″ pouces	5″ pouces
		25,40	50,80	76,20	101,60	127,00
1/64	0,40	25,80	51,20	76,60	102,04	127,39
1/32	0,79	26,19	51,59	76,99	102,39	127,79
3/64	1,19	26,59	51,99	77,39	102,79	128,19
1/16	1,59	26,99	52,39	77,79	103,19	128,59
5/64	1,98	27,38	52,78	78,18	103,58	128,98
3/32	2,38	27,78	53,18	78,58	103,98	129,38
7/64	2,77	28,17	53,58	78,98	104,37	129,78
1/8	3,17	28,57	53,97	79,37	104,77	130,17
9/64	3,57	28,97	54,37	79,77	105,17	130,57
5/32	3,97	29,37	54,77	80,17	105,57	130,97
11/64	4,37	29,76	55,16	80,56	105,96	131,36
3/16	4,76	30,16	55,56	80,96	106,36	131,76
13/64	5,16	30,56	55,96	81,36	106,76	132,16
7/32	5,56	30,96	56,36	81,75	107,16	132,55
15/64	5,95	31,35	56,75	82,15	107,55	132,95
1/4	6,35	31,75	57,15	82,55	107,95	133,55
17/64	6,75	32,15	57,55	82,95	108,34	133,74
9/32	7,14	32,54	57,94	83,34	108,74	134,14
19/64	7,54	32,94	58,34	83,74	109,14	134,54
5/16	7,94	33,34	58,74	84,14	109,54	134,94
21/64	8,33	33,73	59,13	84,53	109,93	135,73
11/32	8,73	34,13	59,53	84,93	110,33	135,33
23/64	9,13	34,53	59,93	85,33	110,73	136,13
3/8	9,52	34,92	60,32	85,72	111,12	136,52
25/64	9,92	35,32	60,72	86,12	111,53	136,92
13/32	10,32	35,72	61,12	86,52	111,92	137,32
27/64	10,72	36,11	61,51	86,91	112,31	137,71
7/16	11,11	36,51	61,91	87,31	112,71	138,11
29/64	11,51	36,91	62,31	87,71	113,11	138,51
15/32	11,91	37,31	62,71	88,12	113,51	138,92
31/64	12,30	37,70	63,17	88,52	113,91	139,37
1/2	12,70	38,09	63,53	88,91	114,29	139,73

MESURES ANGLAISES
USITÉES EN MÉCANIQUE

VALEURS ENTIÈRES DE POUCES ET FRACTIONS DE POUCE en mm

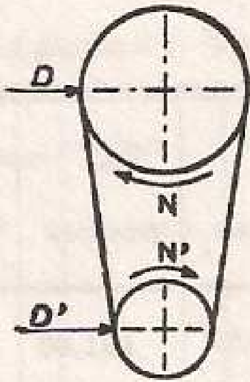
(Suite)

Fractions de pouce	0″ pouce	1″ pouce	2″ pouces	3″ pouces	4″ pouces	5″ pouces
		25,40	50,80	76,20	101,60	127,00
33/64	13,09	38,49	63,90	89,30	114,69	140,09
17/32	13,49	38,89	64,29	89,69	115,09	140,49
35/64	13,89	39,29	64,69	90,10	115,49	140,89
9/6	14,29	39,69	65,09	90,49	115,89	141,29
37/64	14,68	40,08	65,48	90,88	116,28	141,68
19/32	15,08	40,48	65,88	91,28	116,68	142,08
39/64	15,48	40,88	66,28	91,68	117,08	142,48
5/8	15,87	41,27	66,67	92,07	117,47	142,87
41/64	16,27	41,67	67,07	92,47	117,87	143,27
21/32	16,67	42,07	67,47	92,87	118,27	143,67
43/64	17,07	42,46	67,86	93,26	118,66	144,06
11/16	17,46	42,86	68,26	93,66	119,06	144,46
45/64	17,86	43,26	68,66	94,06	119,46	144,86
23/32	18,26	43,66	69,05	94,45	119,85	145,25
47/64	18,65	44,05	69,45	94,85	120,25	145,65
3/4	19,05	44,45	69,85	95,25	120,65	146,05
49/64	19,45	44,85	70,25	95,65	121,04	146,44
25/32	19,84	45,24	70,64	96,04	121,44	146,84
51/64	20,24	45,64	71,04	96,44	121,84	147,24
13/16	20,64	46,04	71,44	96,84	122,24	147,63
53/64	21,03	46,43	71,83	97,23	122,63	148,03
17/32	21,43	46,83	72,23	97,63	123,03	148,43
55/64	21,83	47,23	72,63	98,03	123,43	148,83
7/8	22,22	47,62	73,02	98,42	123,82	149,22
57/64	22,62	48,02	73,42	98,82	124,22	149,62
29/32	23,02	48,42	73,82	99,22	124,62	150,02
59/64	23,42	48,81	74,21	99,61	125,01	150,41
15/16	23,81	49,21	74,61	100,01	125,41	150,81
61/64	24,21	49,61	75,01	100,41	125,81	151,21
31/32	24,60	50,01	75,40	100,80	126,20	151,60
63/64	25,00	50,40	75,80	101,21	126,60	152,00

TRANSMISSION DE MOUVEMENT

(Par poulies et courroie)

— Le rapport des vitesses théoriques (1) de rotation de deux poulies, est égal au rapport inverse de leurs diamètres.



Si N tours par minute est la vitesse de la poulie de diamètre D et N' tours par minute celui de la poulie D', nous avons :

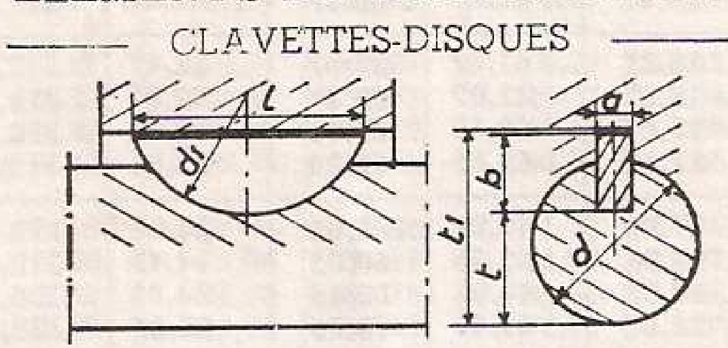
$$\frac{N}{N'} = \frac{D'}{D} \text{ ou } N \times D = N' \times D'$$

formule d'où l'on tire : $N' = \dfrac{N \times D}{D'}$

(1) Dans toutes les transmissions par courroie, il y a une perte de vitesse par glissement, évaluée à 2 % environ de la vitesse transmise.

ÉLÉMENTS DE TRANSMISSION

CLAVETTES-DISQUES



Dimensions en millimètres

a	b	d_1	l	t	t_1	d minimum (*)	d minimum (**)
3	3,7	10	9,66	d—2,7	d+1,1	7	10
	5	13	12,65	d—4	d+1,1	7	10
4	5	13	12,65	d—3,5	d+1,7	10	14
	6,5	16	15,72	d—5	d+1,7	10	14
5	6,5	16	15,72	d—4,5	d+2,2	14	18
	9	22	21,63	d—7	d+2,2	14	18
6	9	22	21,63	d—6,5	d+2,7	18	24
	11	28	27,35	d—8,5	d+2,7	18	24

(*) Cas général. — (**) Cas particulier des machines-outils.

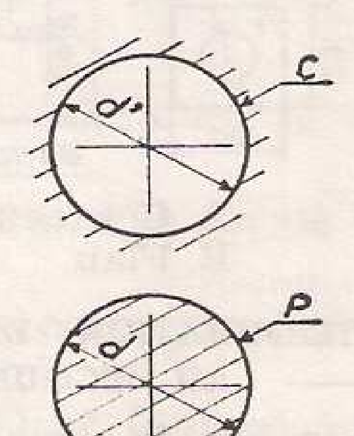
Nota. — Les dimensions des clavetages libre et forcé sont définies par NF E 22-171, 172 et NF E 27-651, 652, 653.

ASSEMBLAGES FRETTÉS

Le **frettage** (*emmanchement à chaud*). — Ce procédé consiste à entourer d'une couronne d'acier (*ou d'un autre métal*), les parties d'une pièce ou d'un organe de machine pour les rendre solidaires et assurer entre elles une adhérence par serrage qui dépasse celle que l'on peut obtenir ordinairement à la presse.

La couronne C (fig. ci-dessous), appelée dans ce cas *frette*, est alésée à un diamètre *d'* légèrement inférieur au diamètre extérieur *d* de la pièce enveloppée P.

La différence entre les diamètres *d-d'* est telle, qu'à la température de chauffe de la couronne, cette dernière peut être engagée librement sur la partie de la pièce qui la reçoit. — *Le frettage est ensuite assuré par suite du refroidissement de la couronne.*



Serrage et température de chauffe. — Le serrage (*d-d'*) varie suivant la nature du métal de la *frette*, sa forme, sa section et la longueur de l'emmanchement.

Lorsque la forme de la *frette* consiste en une simple couronne, le serrage généralement adopté varie entre 0,12 et 0,15 % (*0,12 et 0,15 mm pour 100 mm*) du diamètre de l'alésage.

La température de chauffe varie également entre 350° et 400°.

COEFFICIENT DE DILATATION LINÉAIRE

C'est l'augmentation de longueur par mètre pour une différence de température de 1° centigrade.

Coefficients de dilatation linéaire — de métaux usuels —

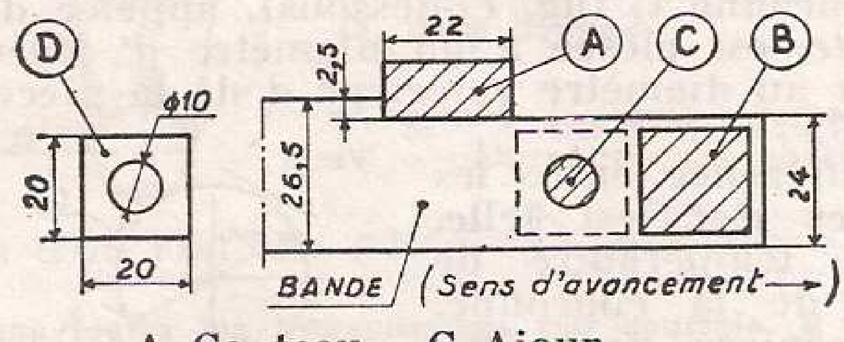
Fer. . . .	0,000 012	Acier coulé.	0,000 012
Fonte. . . .	0,000 011	Bronze ordinaire.	0,000 018

— TRAVAIL MÉCANIQUE —

DES MÉTAUX EN FEUILLES. — *NOTES PRATIQUES*

I. Découpage. — Opération mécanique qui consiste en l'enlèvement, dans une bande de métal (*ou autre matière*), d'une pièce plane de contour quelconque appelée *flan.*

Le PAS ou l'AVANCE, c'est la longueur dont la bande de métal avance entre deux coups de presse successifs.



A Couteau C Ajour
B Flan D Pièce obtenue

DÉTERMINATION DE L'EFFORT NÉCESSAIRE
— AU DÉCOUPAGE D'UNE PIÈCE —

1° *Rechercher le développement du profil à découper y compris le périmètre des trous à perforer dans la même opération, ainsi que la longueur de l'arête coupante du couteau;*

2° *Multiplier ce périmètre total de coupe par l'épaisseur du métal pour obtenir la section poinçonnée;*

3° *Le produit de cette section poinçonnée par l'un des coefficients de résistance au cisaillement énoncés ci-après, détermine l'effort nécessaire pour obtenir le découpage à effectuer.*

REMARQUE. — **Cet effort s'exprime en tonnes.**

COEFFICIENTS DE RÉSISTANCE AU CISAILLEMENT :

Aluminium, cuivre rouge, laiton..	26 à 28	kg/mm²
Duralumin, acier à 30 kg........	33 à 36	—
Acier à 40 kg...................	38 à 42	—
Acier à 50 kg...................	45 à 50	—

Application numérique :

Calculer, d'après le *Coefficient de résistance au cisaillement,* l'effort fourni par une presse, pour

découper une pièce d'acier à 30 kg de 15/10 d'épaisseur, aux cotes données par la figure (page ci-contre). — *Cette figure représente la bande et le couteau en travail.*

a) *Périmètre total de coupe :*

$$(4 \times 20) + (3{,}1416 \times 10) + (22 + 2{,}5) = 135{,}9 \text{ mm}$$

b) *Section poinçonnée :*

$$135{,}9 \times 1{,}5 = 203{,}8 \text{ mm}^2$$

c) *Effort de découpage :*

$$203{,}8 \times \mathbf{33} = 6.725 \text{ kg} = \mathbf{6{,}725\ t}$$

Pratiquement, l'outil à couteau n'est pas utilisé pour les épaisseurs de tôle supérieures à 2 mm.

Outil à découper SIMPLE. — Cet outil se compose de deux éléments de coupe :

a) d'un *poinçon,* dont la section a la forme des pièces à obtenir;

b) d'une *matrice,* calibrée aux cotes exactes des pièces à découper.

Les poinçons et matrices (1) se font en aciers indéformables (*aciers au chrome* ou *autres éléments d'alliage*).

JEU ENTRE POINÇON ET MATRICE. — Ce jeu varie suivant l'épaisseur et la nature du métal à découper :

7/100 de l'épaisseur pour l'**acier**; **1/20** pour le **laiton** et l'**aluminium.**

ANGLE DE DÉPOUILLE *des matrices.* — Cet angle facilite l'évacuation des pièces découpées. — Il est compris entre 2 et 3°, et la hauteur de la partie verticale (partie cylindrique appelée « *champ coupant* »), varie suivant l'épaisseur et la nature du métal à découper.

EFFORT D'EXTRACTION. — Cet effort est de 7 % au maximum de l'effort de découpage, il peut descendre à 2 % quand la perte de métal est faible par rapport aux dimensions de la pièce.

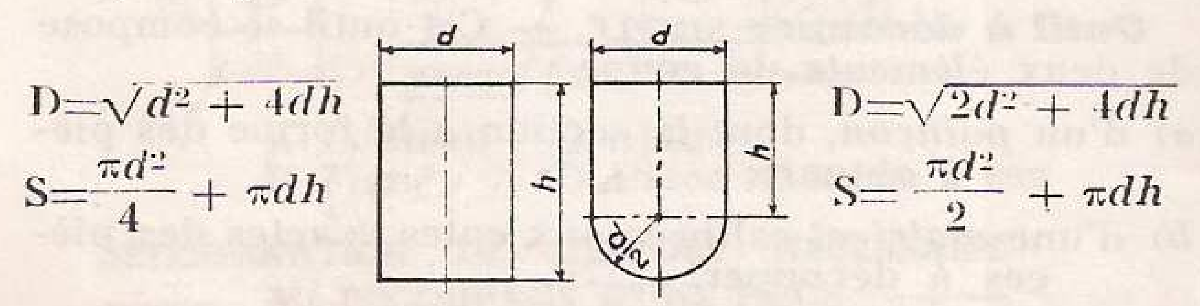
(1) Pour le traitement thermique de ces outils, suivre les indications précises du fabricant de l'acier employé.

II. Emboutissage. — Cette opération, effectuée sur une presse à l'aide d'un poinçon et d'une matrice, consiste à former une pièce creuse, en partant d'une plaque de tôle préalablement découpée, appelée *flan*. — La surface du flan doit être équivalente à celle de la pièce façonnée.

PROCÉDÉS D'EMBOUTISSAGE :

1er cas : Emboutissage sans serre-flan. — 2e cas : Emboutissage avec serre-flan, s'il s'agit de tôle mince ($e < 1$ mm).

CALCUL DU DIAMÈTRE D D'UN FLAN. — L'application des formules ci-dessous permet de déterminer, *approximativement*, le diamètre D (*flan théorique*) et la surface S de quelques pièces de forme cylindrique et sphérique.



NOTA. — Dans la plupart des cas, les GÉNÉRATRICES DES EMBOUTIS **peuvent se décomposer en éléments de droites et en éléments de circonférences.**

III. Le cambrage. — Procédé de pliage des métaux en feuilles. — La ligne de pliage doit être :

a) *Perpendiculaire au sens de laminage*, lorsque les pièces comportent un ou plusieurs cambrages de même direction;

b) *Oblique à ce même sens*, lorsqu'elles comportent plusieurs cambrages de directions différentes.

REMARQUE. — Le rayon intérieur de pliage ne doit pas être INFERIEUR à l'épaisseur de la tôle.

FIBRE MOYENNE. — Ligne située, *théoriquement*, au milieu de l'épaisseur du métal. Pratiquement, pour le cambrage des tôles supérieures à 3 mm d'épaisseur, on considère la *fibre* au 1/3 de l'épaisseur (côté intérieur).

NOTA. — Dans de nombreux ateliers, on possède des tableaux de corrections des développements de pièces, en fonction de l'épaisseur de la tôle et du rayon de cambrage.

LE DÉVELOPPÉ

CALCUL DES LONGUEURS EN DÉVELOPPEMENT DES TOLES PLIÉES EN FONCTION DE L'ANGLE ET DU RAYON DE PLIAGE

Principe. — La longueur totale développée = la longueur des parties droites (ne subissant aucune déformation) + la longueur l des éléments courbes prise sur la ligne neutre, située, *théoriquement*, au milieu de l'épaisseur du métal. — Tout le travail moléculaire s'effectue dans le secteur formé entre *om* et *on* représenté par les *fig.* 1 et 2.

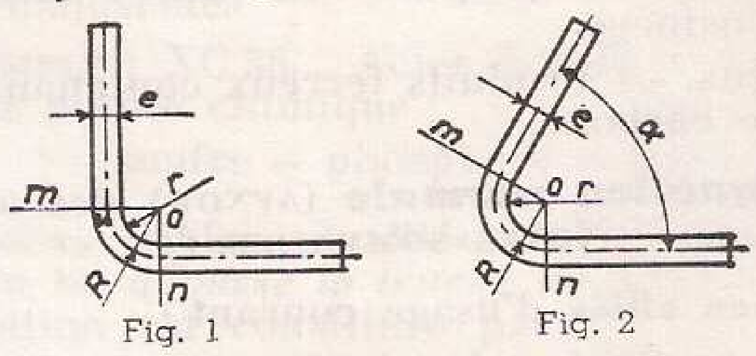


Fig. 1 Fig. 2

APPLICATIONS

I. — *Pliage à l'angle de 90°* (fig. 1).

Longueur l de l'élément courbe

Formule :

$$l = \frac{2\pi R}{4} = \frac{\pi R}{2} = R \times 1{,}57$$

$$R = r + \frac{e}{2} \qquad \text{d'où } l = \frac{\pi}{4}(2r + e)$$

II. — *Pliage à un angle quelconque* α (fig. 2).

Longueur l de l'élément courbe

Formule :

$$l = \frac{\pi(180° - \alpha)}{360°}(2r + e)$$

NOTES relatives au cintrage des tubes :

La longueur développée de la partie cintrée est mesurée sur la *ligne neutre* (axe du tube). — Le *calcul du développé* est identique à celui du *cintrage* des tôles. **Pour éviter la déformation de l'élément courbe les tubes sont cintrés (à chaud ou à froid), après remplissage de sable, de résine fondue, etc.**

MÉTAUX ET ALLIAGES USUELS

UTILISÉS EN CONSTRUCTION MÉCANIQUE

LES FONTES. — Produits ferreux contenant de 2,5 à 5 % de carbone. — Il y a les fontes de première fusion, *élaborées dans le haut fourneau*; et les fontes de deuxième fusion, *élaborées au cubilot* (fonderie).

— ***Fonte de deuxième fusion :***

FONTE MÉCANIQUE OU FONTE GRISE. — Cette fonte constitue, pour la construction des machines les plus courantes, la plupart des pièces moulées devant être usinées.

LES ACIERS. — Produits ferreux contenant de 0,05 à 1,5 % de carbone.

— ***Désignation normale*** (AFNOR) des aciers de construction. — NOTES SOMMAIRES :

I. Aciers non alliés d'usage courant :

a) *Acier* ordinaire du commerce, qui se désigne par la notation A D*x*.

b) *Aciers* pour lesquels on exige un minimum de résistance R à la rupture en kg/mm². Ces aciers sont désignés par la lettre A suivie de la valeur minimum de R.

Exemple : A 37... Acier ordinaire à 37 kg/mm²

NUANCES	CHARGE DE RUPTURE R en kg/mm²		NUANCES	CHARGE DE RUPTURE R en kg/mm²	
	minimum	maximum		minimum	maximum
A D*x*	*33*	*50*	A 56	56	65
A 33	33	40	A 65	65	75
A 37	37	44	A 75	75	85
A 42	42	50	A 85	85	95
A 48	48	56	A 95	95	105

NOTA. — La garantie de soudabilité s'exprime par la lettre S. — Exemple :

A 56 S... Acier ordinaire soudable R 56 kg/mm²

II. Aciers non alliés pour traitements thermiques.

a) Aciers ordinaires. — La désignation est constituée par :

— La lettre C (carbone) suivie d'un nombre entier égal à 100 fois la teneur moyenne en C %;

— Une lettre minuscule indiquant le degré croissant de pureté chimique en phosphore et en soufre.

b) Aciers fins. — La désignation de ces aciers est la même que celle de la classe (II. *a*) précédée de X majuscule.

Exemple : XC 38... Acier à 0,38 % de C et d'une grande pureté chimique :

(soufre + phosphore = 0,065 %)

III. Aciers faiblement alliés (*Aucun élément d'addition ne dépasse la teneur de 5 %*). — Leur désignation est constituée par :

— Un nombre entier égal à 100 fois la teneur % en carbone;

— Une lettre ou une série de lettres indiquant les éléments d'addition dans l'ordre des teneurs décroissantes;

— Un nombre égal à la teneur % de l'élément d'addition dominant, multipliée par :

4 pour le chrome (C), le cobalt (K), le manganèse (M), le nickel (N) et le silicium (S); 10 pour tous les autres éléments.

Exemple :

35 NC 6 = 0,35 % de carbone; 1,5 % de nickel.

IV. Aciers fortement alliés (*Un élément d'addition au moins à une teneur de 5 %*). — Leur désignation est précédée de la lettre Z qui signifie acier fortement allié, le nombre qui suit le groupe de lettres indique la teneur en % de l'élément principal.

***Symboles :* NOTA. — La lettre C désigne le carbone dans les aciers non alliés, et le chrome dans les aciers alliés.**

— **Densité.** — Rapport du poids d'un volume déterminé d'un corps au poids d'un même volume d'eau (à **4 °C**).

NOTA. — La notion de densité est souvent employée en construction mécanique, pour la détermination du poids des organes.

SYMBOLES, DENSITÉS, POINTS DE FUSION DES PRINCIPAUX MÉTAUX ET ÉLÉMENTS D'ALLIAGE

MÉTAUX / Eléments d'alliage	SYMBOLES NORMALISÉES	SYMBOLES CHIMIQUES	DENSITÉS	POINTS de fusion °C
Aciers.......	—	—	7,8	1 400°
Aluminium...	A	*Al*	2,7	660°
Antimoine...	R	*Sb*	6,7	630°
Bismuth.....	Bi	*Bi*	9,8	270°
Chrome......	C	*Cr*	6,8	1 610°
Cobalt.......	K	*Co*	8,8	1 490°
Cuivre.......	U	*Cu*	8,9	1 080°
Etain........	E	*Sn*	7,28	232°
Fer..........	Fe	*Fe*	7,85	1 520°
Fonte grise..	—	—	7,2	1 200°
Magnésium...	G	*Mg*	1,74	650°
Manganèse...	M	*Mn*	7,22	1 265°
Molybdène...	D	*Mo*	10,2	2 570°
Nickel.......	N	*Ni*	8,8	1 450°
Plomb.......	Pb	*Pb*	11,3	325°
Silicium.....	S	*Si*	2,4	1 430°
Titane.......	T	*Ti*	4,5	1 820°
Tungstène...	W	*W*	19,1	3 460°
Vanadium...	V	*V*	5,8	1 715°
Zinc.........	Z	*Zn*	7,14	419°

— **Poids spécifique.** — L'unité de volume pratiquement choisie étant le *décimètre cube*, le poids spécifique s'exprime en *kilogramme par* dm^3.

REMARQUE : Le poids spécifique d'un corps et sa densité sont représentés par le même nombre.

ALLIAGES A BASE DE CUIVRE D'EMPLOI COURANT :

Bronzes ordinaires : *Symbole* U-E (cuivre et étain). — Principales applications :

1° Pièces soumises à des frottements d'usure :

Symbole U-E 16

Composition... { Cuivre. . . . 84 % ; Etain . . . . . 16 %

2° Pièces soumises à des frottements doux :

Symbole U-E 14

Composition... { Cuivre. . . . 86 % ; Etain . . . . . 14 %

3° Pièces sans frottement : Robinetterie, etc...

Symbole U-E 10

Composition... { Cuivre. . . . 90 % ; Etain . . . . . 10 %

Laitons : *Symbole* U-Z (cuivre et zinc).

Composition approximative :

Cuivre . . . . . . 60 à 65 %
Zinc . . . . 35 à 40 %

Les laitons sont utilisés pour de nombreux travaux de décolletage : *visserie, petites pièces de construction mécanique et électrique.*

NOTA. — Pour faciliter l'usinage du laiton, on ajoute de 1 à 2 % de plomb au mélange cuivre-zinc.

Le métal Delta. — Laiton spécial contenant environ 55 % de cuivre, du zinc, 3 à 4 % de fer et du manganèse jusqu'à 10 %.

Les maillechorts : *Symbole* U-Z-N (cuivre, zinc et nickel). — Alliages utilisés dans la fabrication des instruments de mesure et de précision.

Composition moyenne { 60 % de cuivre, ; 20 % de zinc, ; 20 % de nickel.

— L'*antifriction* ou *régule* à base de cuivre, d'étain, de plomb et d'antimoine.

Cet alliage, qui fond vers 245°, est utilisé pour le revêtement INTERIEUR de coussinets de machines, après étamage des surfaces.

ALLIAGES A BASE D'ALUMINIUM

(Alliages légers d'emploi courant)

L'aluminium (*Symbole* A). — Métal très malléable, utilisé principalement dans la construction aéronautique sous forme d'ALLIAGES.

L'aluminium manganèse (*Symbole* AM). — Alliage offrant une résistance mécanique d'environ 20 % supérieure à celle de l'aluminium pur.

Duralumin (*Symbole* A-U4G). — Densité 2,8.

Composition approximative :

Aluminium . .	95 %	Magnésium . .	0,5 %
Cuivre	4 %	Manganèse . .	0,5 %

Le duralumin est un des alliages d'aluminium le plus appliqué en construction mécanique.

Duralinox (*Symbole* A-G3, A-G5, A-G7). — Densité 2,6. La teneur en magnésium classe l'alliage en duralinox H3, en duralinox H5 ou duralinox H7.

Composition approximative :

Aluminium : 96,5 — 94,5 ou 92,5 % ;
Magnésium 3 — 5 ou 7 % ; Manganèse 0,5 %.

Magnésium (*Symbole* G). — Métal blanc, très léger. — Sa densité est faible : 1,74; son point de fusion : 650° environ. En construction mécanique, on n'utilise que des alliages incorporés au magnésium :

Aluminium, zinc, manganèse, silicium.

L'alpax. — Aluminium 86 %, silicium 13 %, manganèse 0,5 %, magnésium 0,5 %. — Utilisation : *carters de moteur, culasses, pistons, etc...*

L'almasilium : *Symbole* A-S-G (*aluminium, silicium et magnésium*). — Densité 2,7. C'est un alliage à traitement thermique.

Composition... { Magnésium 0,90 % ; Silicium.. 1,3 % ; Aluminium. le reste

NOTA. — *Parmi les alliages à base d'aluminium, il existe un grand nombre d'alliages de fonderie, avec ou sans traitement thermique.*

Usinage. — *Quelques notes :* Les outils pour l'usinage des alliages légers présentent les caractéristiques moyennes suivantes :
— *Pente d'affûtage b* de 30° environ (voir tableaux pages 108 et 110), cette pente pouvant être augmentée à 40° pour l'usinage de l'aluminium pur, et diminuée à 20° pour les alliages ayant un fort pouvoir abrasif (10 % de silicium).
— *Angle de dépouille a* 6 à 8 %.
— *Angle de tranchant d* (cet angle formant le complément à 90° de la somme des deux angles précédents).

ÉVALUATION
des températures de chauffe
(d'après la coloration de l'acier)

COLORATION	Degrés	COLORATION	Degrés
Jaune très clair . .	210°	Lilas.	265°
Jaune paille clair	220°	Violet.	280°
Jaune paille foncé	230°	Bleu.	300°
Jaune foncé.	240°	Vert foncé.	330°
Jaune brun.	250°	Gris noir.	400°

COLORATION	Degrés	COLORATION	Degrés
Rouge naissant. .	500°	Cerise clair.	1.000°
Rouge naist avancé	550°	Orange foncé. . . .	1.100°
Rouge très sombre	600°	Orange clair. . . .	1.200°
Rouge sombre. . .	700°	Blanc.	1.300°
Rouge cerise nais[t]	800°	Blanc très clair. .	1.400°
Rouge cerise.	900°	Blanc éblouissant	1.500°

NOTA. — Le contrôle de la température des pièces chauffées s'effectue généralement à l'aide d'appareils de mesure spéciaux.

RETRAIT LINÉAIRE
DE QUELQUES MÉTAUX ET ALLIAGES

Acier coulé.	0,02	Laiton. . . .	0,015 4
Fonte	0,010 4	Aluminium.	0,012
Bronze. . . .	0,015 9	Plomb	0.010 9

TRAITEMENTS THERMIQUES
des aciers à outils au carbone

Les principaux traitements thermiques sont :

LA TREMPE — LE REVENU — LE RECUIT

I. Trempe. — *Température de chauffage* : 700 à 800° (variable suivant la teneur en carbone). Refroidissement : huile ou eau, dont la température doit être 10 à 15°.

REMARQUE. — Pour éviter une oxydation trop importante le chauffage doit être conduit lentement jusque vers 400°, puis plus rapidement jusqu'à 750 à 800°.

II. Revenu. — Cette opération consiste à réchauffer un acier trempé afin de le rendre moins fragile.
— *La température du revenu* varie généralement entre 200 et 320° pour les aciers d'outillage.

— Pour les aciers au carbone revenus au-dessous de 250°, le refroidissement peut s'effectuer par immersion dans l'eau; pour les températures supérieures, il a lieu dans l'huile chauffée à 150 ou à 200° et se termine à l'air libre.

III. Recuit. — Cette opération s'applique à la plupart des métaux. — Le *recuit* a pour but de détruire complètement l'effet de la trempe ou celui dû à l'écrouissage, en ramenant le métal à son état normal.

— Un recuit comporte un chauffage, un maintien en température (5 à 10 minutes) et un refroidissement qui varie avec la nature du métal.

TRAITEMENTS THERMO-CHIMIQUES

— Ces traitements sont le *complément indispensable* de l'usinage de nombreuses pièces mécaniques.

I. Cémentation. — Opération qui a pour but de carburer superficiellement un acier à *faible teneur en carbone* pour le transformer en acier trempant.

CÉMENTS A L'ÉTAT SOLIDE. — Constitués par du charbon de bois (60 %) mélangé avec 40 % de *carbonate de baryte,* la vitesse de pénétration est 0,1 à 0,2 mm par heure de chauffage.

Trempe après cémentation. — Les pièces cémentées peuvent subir une double trempe à l'eau; la *première* à 900°, la *deuxième* à 750°.

CÉMENTS A L'ÉTAT LIQUIDE (*Cyanuration*). — Ces céments sont composés de sels métalliques : *cyanure de sodium, carbonate de sodium*, etc., fondus à la température de cémentation (950°). La vitesse de pénétration atteint 0,3 à 0,4 mm par heure.

II. Nitruration. — Le principe de cette opération consiste à faire absorber de l'azote à certaines fontes et aux aciers spéciaux dits « *de nitruration* ».

Chauffées dans un four électrique à une température de 500 à 550°, les pièces usinées à traiter sont placées dans une *cuve en acier spécial*, dans laquelle circule un courant de gaz ammoniac provenant d'une bouteille d'ammoniaque liquide.

(La durée de l'opération varie généralement entre 65 et 70 heures de chauffage, pour obtenir une épaisseur **nitrurée** de 5/10 de mm.)

Protection contre la nitruration. — Un simple étamage sur les parties à ne pas nitrurer.

NOTA. — Pour éviter que l'étain fonde à 285° (point de fusion normal), **on chauffe la caisse remplie de pièces à nitrurer jusqu'à 210°. On suspend ensuite, pour un temps, le dégagement de gaz ammoniac, ce qui a pour effet d'oxyder la couche d'étain qui devient infusible jusqu'à 500°. Elle assure ainsi une protection parfaite et sans risque.**

— TRAITEMENT DE DÉCARBURATION —

La malléabilisation. — Procédé appliqué aux pièces coulées en fonte blanche (*fonte de première fusion*), pour être transformées, par décarburation superficielle, en fonte malléable.

PRINCIPE. — Les pièces sont enrobées d'oxyde de fer (*hématite*), puis mises dans des caisses (en fonte) pour être ensuite portées dans des fours chauffés à la température de 950° pendant 90 heures environ. — Le refroidissement des pièces se fait ensuite lentement.

REMARQUE. — La malléabilisation est un traitement qui s'applique seulement aux pièces brutes.

(par rivetage, soudage autogène et à l'arc)

— **Rivetage des tôles** (*alliages d'aluminium*)

FORMES DES TÊTES DE RIVETS : Ces formes sont normalisées; elles se désignent par un symbole.

a) Tige de rivet. — Le rapport du diamètre d de tige à l'épaisseur e des tôles, est égal à : $\frac{d}{e} = 1{,}6\,e$ à $1{,}8\,e$ pour tôles d'épaisseur supérieure ou égale à 2 mm.

b) Longueur l de tige (approximative) :

Pour rivure (tête ronde) : $l = 1{,}5\,d$ + épaisseur à river.
Pour rivure (tête fraisée) : $l = 0{,}7\,d$ + épaisseur à river.

c) Le *pas* (distance des rivets) est un peu moindre que pour l'acier : 3,5 à 5 d pour l'assemblage ordinaire et 3 d (minimum) pour l'étanchéité.

d) Perçage des trous de rivets. — Le *jeu* généralement adopté est :

0,1 mm pour les diamètres de rivet $\leqslant$ 4 mm.
0,2 mm — — de 5 à 10 mm.

e) Pose des rivets :

à froid jusqu'à 8 mm de diamètre;
à chaud à partir de 10 mm à une température de 400 à 500°.

f) Largeur des pinces. — Elle est généralement supérieure ou égale à 2 d.

— SOUDAGES. — *Quelques notes :*

En construction mécanique, le procédé de soudage le plus courant est celui de soudage autogène au chalumeau, désigné sous le nom de *soudure autogène*.

Ce procédé consiste à assembler des pièces métalliques *par fusion* de leurs bords, au moyen d'une flamme oxy-acétylénique (*symbole* OA), avec addition d'un métal de même nature que celui des pièces à réunir.

La flamme oxyacétylénique s'obtient au chalumeau, alimenté en oxygène et en acétylène; la température obtenue est d'environ 3 000°.

— **Soudure à l'arc.** — C'est une soudure autogène où la fusion du métal est provoquée par l'arc électrique.

Les pièces à assembler sont reliées à l'un des pôles d'un générateur électrique, l'autre pôle est relié à une électrode conductrice, constituée par le métal d'apport.

Pour la soudure des *alliages légers*, l'électrode doit être enrobée d'un flux décapant spécial.

— **Le soudo-brasage.** — La technique du soudo-brasage s'apparente à celle du soudage autogène au chalumeau, dont elle emprunte la méthode de préparation des pièces et le mode opératoire.

Les métaux d'apport de soudo-brasage sont des alliages, élaborés spécialement pour cet usage (baguettes cylindriques en bronze spécial — *brox* ou *bronzogène* et un flux décapant constitué par une poudre ou une pâte (éléments nécessaires pour permettre une exécution facile).

Point de fusion :

Soudo-brasage courant......... 800 à 900°
Soudo-brasage à haute résistance 900 à 950°

Applications du soudo-brasage :

Assemblage de métaux de nature différente;
Soudure de métaux et d'alliages susceptibles d'être déformés par les soudures au chalumeau ou à l'arc.

Le brasage : *Composition de brasures*

— *Les surfaces des parties de pièces à braser nécessitent l'élimination de toute trace d'oxyde, par nettoyage à la lime, au grattoir ou au décapant.*

— *La soudure à l'étain ou soudure tendre, est une soudure d'étanchéité et non une soudure de résistance.*

— *La soudure forte ou brasure, se compose de cuivre (56 %), de zinc (30 %) et d'étain (14 %), avec un point de fusion compris entre 800 et 850°.*

— *La brasure extra-forte, se compose de cuivre (80 %) et de zinc (20 %).*

CALCUL DU POIDS D'UNE PIÈCE COULÉE OU FORGÉE

Pour obtenir, approximativement, le poids d'une pièce coulée ou forgée définie par un dessin, on calcule son VOLUME EN DM^3 (la pièce étant décomposée en solides ou figures géométriques simples), ensuite, on le multiplie par la *densité* ou *le poids spécifique* du métal.

POIDS D'ACIER EN BARRES

Barres *de section ronde.* — Pour obtenir (approximativement) le poids en grammes, par mètre linéaire, multiplier le diamètre par lui-même et le produit obtenu par **6,165**.

Diamètre en mm	Poids en kg	Diamètre en mm	Poids en kg	Diamètre en mm	Poids en kg	Diamètre en mm	Poids en kg
8	0,394	18	1,998	30	5,548	60	22,192
10	0,617	20	2,465	35	7,552	65	26,046
12	0,887	22	2,984	40	9,865	70	30,210
14	1,206	24	3,550	45	12,485	80	39,45
15	1,387	25	3,852	50	15,412	90	49,94
16	1,576	28	4,832	55	18,650	100	61,65

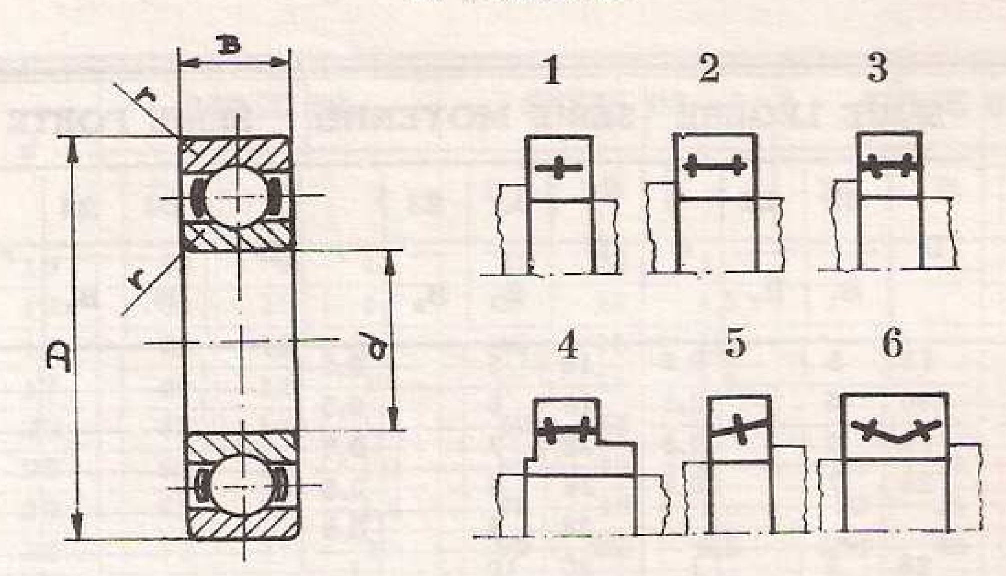
Barres *de section carrée.* — On obtient le poids approximatif, au mètre linéaire, en multipliant le côté par lui-même et le produit obtenu par **7,85**.

— Pour les barres d'acier de *section hexagonales*, multiplier la dimension sur plats par elle-même, puis le produit obtenu par **6,75**.

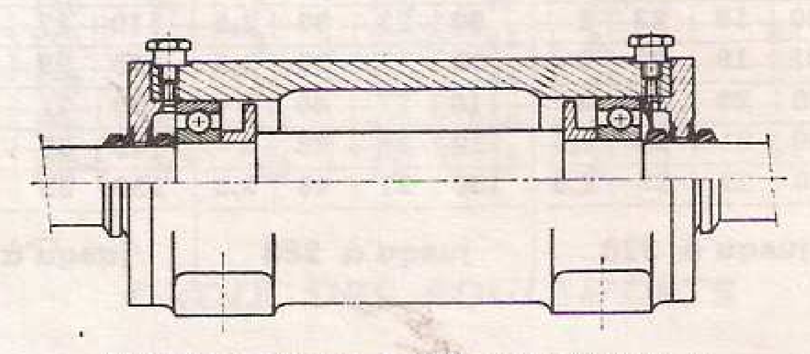
POIDS DES TOLES

Poids en kg par m². — Le poids en kg, d'une tôle de 1 m² et de 1 mm d'épaisseur, est exprimé par le *même nombre* que la *densité* du métal.

ROULEMENTS
A BILLES



1. Roulement à billes à 1 rangée;
2. — — à 2 —
3. — — à 2 — à rotules;
4. — — à 2 — à rotules avec manchon de serrage;
5. — — à 1 — à contact oblique;
6. — — à 2 — à contact oblique.



PALIER DOUBLE POUR VENTILATEUR
Roulements rigides à une rangée de billes

(Documentation SKF)

— Les roulements à billes sont nettement de construction spécialisée, ainsi d'ailleurs que les roulements à rouleaux et à aiguilles.

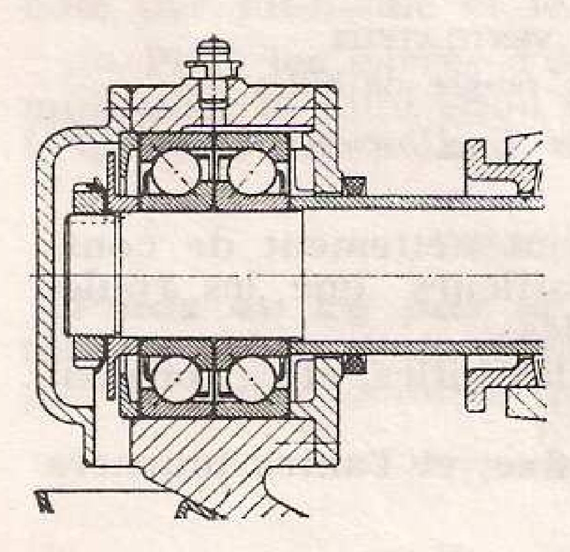
— Les bagues qui entourent les billes, etc... forment un chemin de roulement.

— L'une des bagues restera fixe, et l'autre tournera pendant le fonctionnement.

ROULEMENTS A BILLES

B_1 : largeur étroite — B_2 : largeur moyenne

d	SÉRIE LÉGÈRE				SÉRIE MOYENNE				SÉRIE FORTE			
	D	02 / B_1	22 / B_2	r	D	03 / B_1	23 / B_2	r	D	04 / B_1	24 / B_2	r
4	13	5		0,5	16	5		0,5				
5	16	5		0,5	19	6		0,5				
6	19	6		0,5	22	7		0,5				
7	22	7		0,5	26	9		0,5				
8					28	9		0,5				
9	26	8		1	30	10		1				
10	30	9	14	1	35	11	17	1				
12	32	10	14	1	37	12	17	1,5				
15	35	11	14	1	42	13	17	1,5				
17	40	12	16	1,5	47	14	19	1,5	62	17	29	2
20	47	14	18	1,5	52	15	21	2	72	19	33	2
25	52	15	18	1,5	62	17	24	2	80	21	36	2,5
30	62	16	20	1,5	72	19	27	2	90	23	40	2,5
35	72	17	23	2	80	21	31	2,5	100	25	43	2,5
40	80	18	23	2	90	23	33	2,5	110	27	46	3
45	85	19	23	2	100	25	36	2,5	120	29	50	3
50	90	20	23	2	110	27	40	3	130	31	53	3,5
55	100	21	25	2,5	120	29	43	3	140	33	57	3,5
60	110	22	28	2,5	130	31	46	3,5	150	35	60	3,5
	jusqu'à 320				jusqu'à 280				jusqu'à 240			



PALIER DE BUTÉE
DE POMPE CENTRIFUGE
Roulements à billes
à contact oblique

(Documentation SKF)

ROULEMENTS A ROTULES
SUR DEUX RANGÉES DE BILLES

d	SÉRIE 02			SÉRIE 03			SÉRIE 04		
	D	B	r	D	B	r	D	B	r
10	30	9	1	35	11	1			
12	32	10	1	37	12	1,5			
15	35	11	1	42	13	1,5			
17	40	12	1	47	14	1,5			
20	47	14	1,5	52	15	2			
25	52	15	1,5	62	17	2	80	21	2,5
30	62	16	1,5	72	19	2	90	23	2,5
35	72	17	2	80	21	2,5	100	25	2,5
40	80	18	2	90	23	2,5	110	27	3
45	85	19	2	100	25	2,5	120	29	3
50	90	20	2	110	27	3	130	31	3,5
55	100	21	2,5	120	29	3	140	33	3,5
60	110	22	2,5	130	31	3,5	150	35	3,5
65	120	23	2,5	140	33	3,5	160	37	3,5
70	125	24	2,5	150	35	3,5	180	42	4
75	130	25	2,5	160	37	3,5	190	45	4
80	140	26	3	170	39	3,5			
85	150	28	3	180	41	4			
90	160	30	3	190	43	4			
95	170	32	3,5	200	45	4			
100	180	34	3,5	215	47	4			

CHOIX DES ROULEMENTS

Le choix est conditionné par les facteurs suivants :

1° *Nature et importance de la charge :*

a) sa direction, soit radiale, axiale ou mixte (voir roue et vis sans fin);

b) la possibilité de choc.

2° *Conditions spéciales de fonctionnement :*

— nécessité éventuelle de réglage du jeu des roulements;

— température élevée.

3° *Etats de construction de la machine :*
— rectitude de l'alignement des paliers;
— degré de rigidité ou de flexibilité des arbres;
— facilité de montage et de démontage.

4° *Vitesses de rotation.*

5° *Mode de lubrification.*

6° *Les butées à billes* sont uniquement destinées à supporter des poussées axiales. Elles ne peuvent pas supporter de charges radiales.

7° *Les butées à rotule* sur rouleaux peuvent supporter non seulement des poussées axiales considérables mais aussi des charges radiales importantes.

DIFFÉRENTS TYPES DE ROULEMENTS	EFFORTS QUE PEUT SUPPORTER LE ROULEMENT	
	dans le sens radial (force verticale)	dans le sens axial (force horizontale)
A galets cylindriques:	Très importants	Nuls
Ordinaires à billes :	Moyens	Très faibles
A billes à gorges profondes :	Moyens	Modérés
A rotules sur deux rangées de billes :	Moyens	Moyens
Obliques à billes (1 rangée) :	Moyens	Moyens
A rouleaux coniques:	Très importants	Moyens
A butées à billes :	Nuls	Très importants
A rotules sur rouleaux côniques [1] :	Importants	Importants

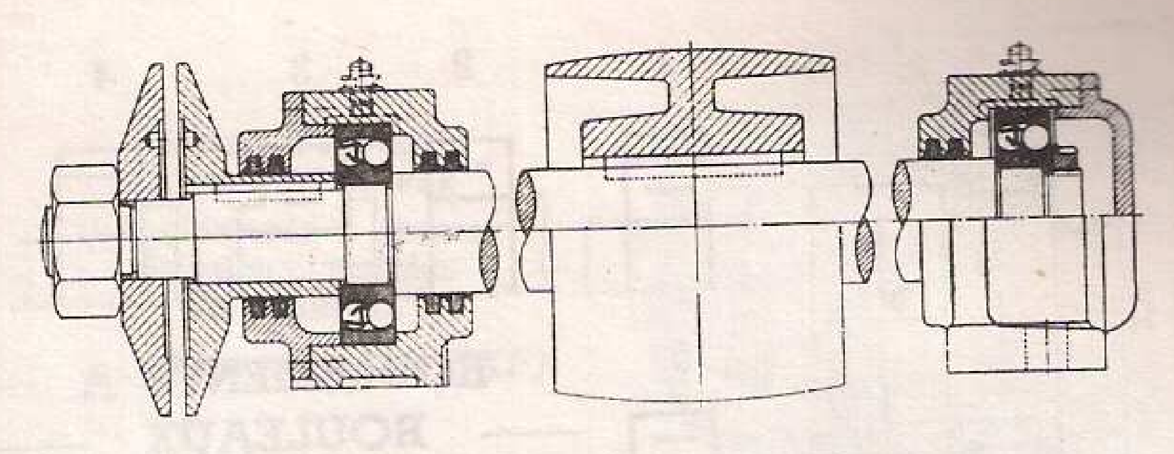
(1) **Remarque :** Remplace souvent la butée à billes, résiste bien aux chocs, et peut également se monter sur manchon conique.

— Le roulement à rotule est recommandé pour les constructions imparfaitement rigides, grâce à sa propriété d'alignement automatique.

— On l'utilise couramment avec un manchon conique, permettant :

a) sa fixation sur arbre lisse, et

b) le rattrapage de jeu.



ARBRE DE SCIE CIRCULAIRE
Roulements à rotule sur deux rangées de billes
(Documentation SKF)

CONSEILS RELATIFS AUX DESSINS DE MONTAGE

— 1. Indiquer toujours *la nature des ajustements* des bagues de roulements sur leurs portées (ou leurs logements).

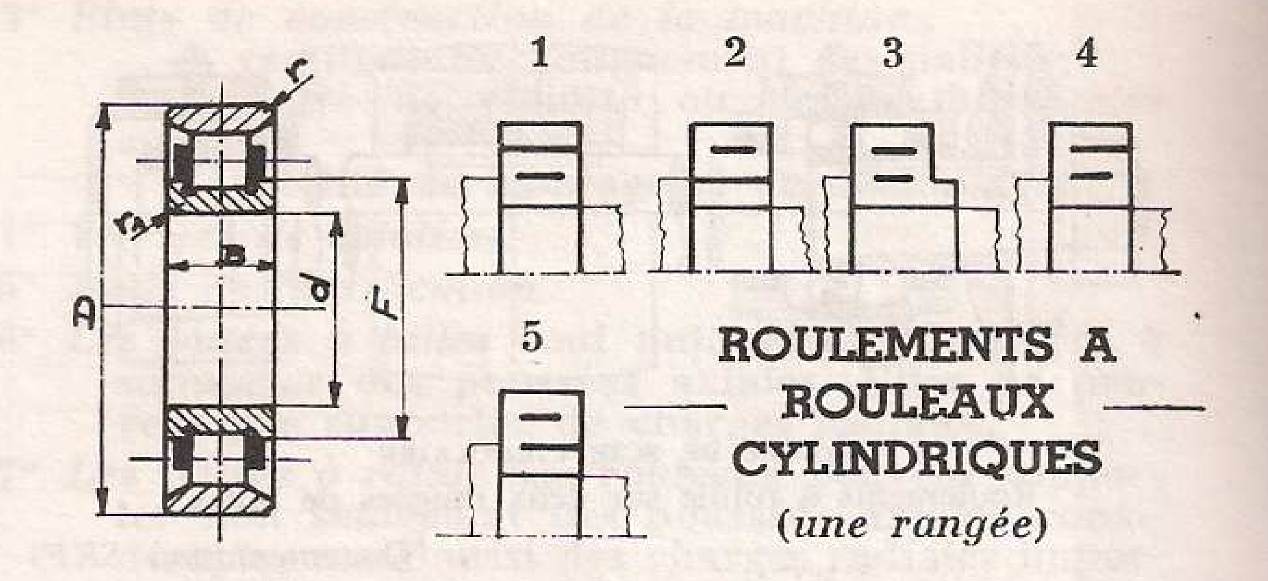
— 2. Dans le cas d'une transmission, tenir compte de *la dilatation des arbres*. (Un arbre doit être fixé par un seul palier.)

— 3. Au passage de l'arbre à travers les couvercles (ou les carters), indiquer *le jeu de chaque côté de l'arbre* (0,25 mm pour le rayon, 0,5 mm au diamètre en général; dans le mouvement à rotule : 0,75 mm au rayon).

— 4. Le montage des roulements dans les bâtis (ou sur les arbres) doit être tel que la pression sur les couronnes (ou bagues) s'exerce dans la région moyenne des faces de celle-ci.

— 5. Les écrous de blocage doivent avoir un *sens de rotation inverse* de celui de la rotation de l'arbre.

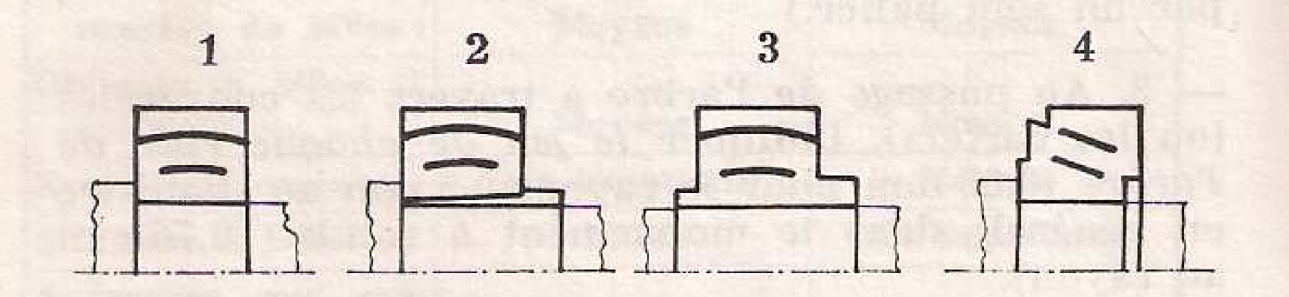
— 6. L'étanchéité des boîtiers doit être assurée.



ROULEMENTS A ROULEAUX CYLINDRIQUES

(*une rangée*)

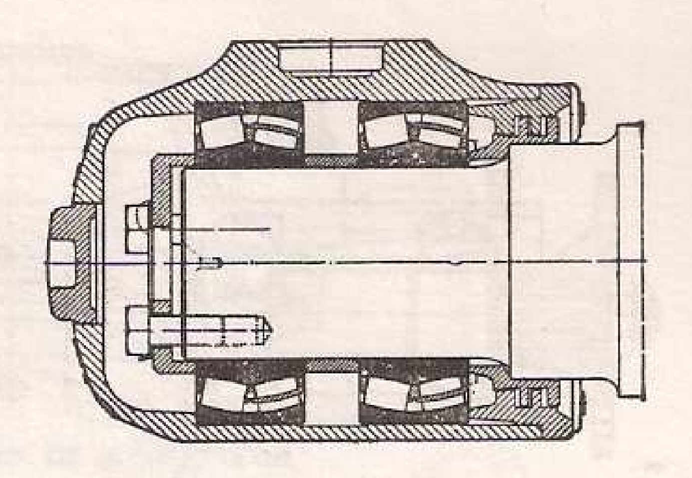
1. A double épaulement sur bague intérieure;
2. A double épaulement sur bague extérieure;
3. A double épaulement sur les deux bagues, dont un rapporté;
4. A double épaulement sur bague extérieure, un épaulement sur bague extérieure;
5. A double épaulement sur bague extérieure, un épaulement sur bague intérieure.



ROULEMENTS A ROTULES

(*deux rangées*)

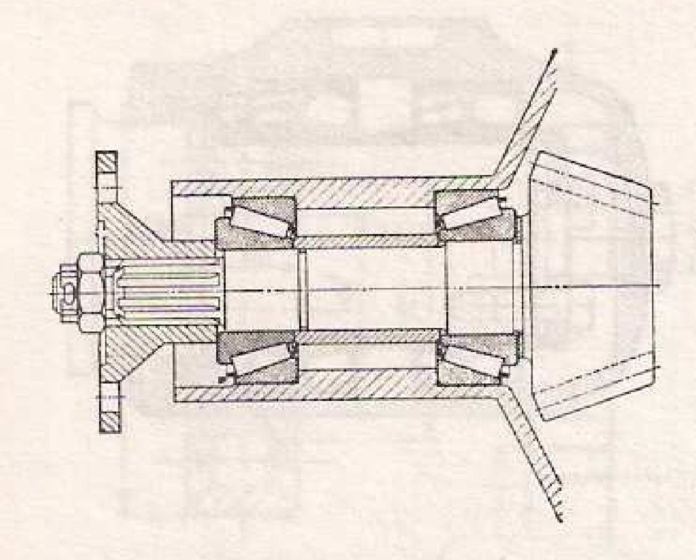
1. Simple;
2. Avec manchon de démontage;
3. Avec manchon de serrage;
4. Roulements à rouleaux coniques.



BOITE D'ESSIEU DE CHEMIN DE FER
Roulements à rotule sur deux rangées de rouleaux
(Documentation SKF)

— ROULEMENTS A ROULEAUX CYLINDRIQUES —
(une rangée)

SÉRIE 02					d	SÉRIE 03				
D	B	F	r	r_1		D	B	F	r	r_1
47	14	27	1,5	1	20	52	15	28,5	2	1
52	15	32	1,5	1	25	62	17	35	2	2
62	16	38,5	1,5	1	30	72	19	42	2	2
72	17	43,8	2	1	35	80	21	46,2	2,5	2
80	18	50	2	2	40	90	23	53,5	2,5	2,5
85	19	55	2	2	45	100	25	58,5	2,5	2,5
90	20	60,4	2	2	50	110	27	65	3	3
100	21	66,5	2,5	2	55	120	29	70,5	3	3
110	22	73,5	2,5	2,5	60	130	31	77	3,5	3,5
120	23	79,6	2,5	2,5	65	140	33	83,5	3,5	3,5
125	24	84,5	2,5	2,5	70	150	35	90	3,5	3,5
130	25	88,5	2,5	2,5	75	160	37	95,5	3,5	3,5
140	26	95,3	3	3	80	170	39	103	3,5	3,5
150	28	101,8	3	3	85	180	41	108	4	4
160	30	107	3	3	90	190	43	115	4	4
170	32	113,5	3,5	3,5	95	200	45	121,5	4	4
180	34	120	3,5	3,5	100	215	47	129,5	4	4
190	36	126,8	3,5	3,5	105	225	49	135	4	4
200	38.	132,5	3,5	3,5	110	240	50	143	4	4
215	40	143,5	3,5	3,5	120	260	55	154	4	4
230	40	156	4	4	130	280	58	167	5	5
250	42	169	4	4	140	300	62	180	5	5
270	45	182	4	4	150	320	65	193	5	5

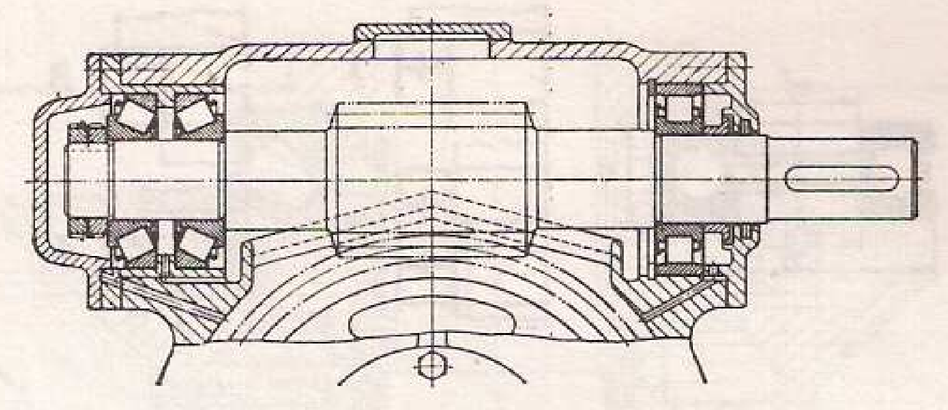


PIGNON D'ATTAQUE D'UN VÉHICULE DE TOURISME
Roulements à rouleaux coniques
(Documentation SKF)

— ROULEMENTS A ROULEAUX CYLINDRIQUES —

(une rangée)

SÉRIE 04					d	SÉRIE 10				
D	B	F	r	r_1		D	B	F	r	r_1
					25	47	12	30,5	1	0,5
90	23	45	2,5	2,5	30	55	13	36,5	1,5	0,8
100	25	53	2,5	2,5	35	62	14	42	1,5	0,8
110	27	58	3	3	40	68	15	47	1,5	1
120	29	64,5	3	3	45	75	16	52,5	1,5	1
130	31	70,8	3,5	3,5	50	80	16	57,5	1,5	1
140	33	77,2	3,5	3,5	55	90	18	64,5	2	1,5
150	35	83	3,5	3,5	60	95	18	69,5	2	1,5
160	37	89,3	3,5	3,5	65	100	18	74,5	2	1,5
180	42	100	4	4	70	110	20	80	2	1,5
190	45	104,5	4	4	75	115	20	85	2	1,5
200	48	110	4	4	80	125	22	91,5	2	1,5
210	52	113	5	5	85	130	22	96,5	2	1,5
225	54	123,5	5	5	90	140	24	103	2,5	2
240	55	133,5	5	5	95	145	24	108	2,5	2
250	58	139	5	5	100	150	24	113	2,5	2
260	60	144,5	5	5	105	160	26	119,5	3	2
280	65	155	5	5	110	170	28	125	3	2
310	72	170	6	6	120	180	28	135	3	2
340	78	185	6	6	130	200	33	148	3	2
360	82	198	6	6	140	210	33	158	3	2
380	85	213	6	6	150	225	35	169,5	3,5	2,5
					160	240	38	180	3,5	3,5

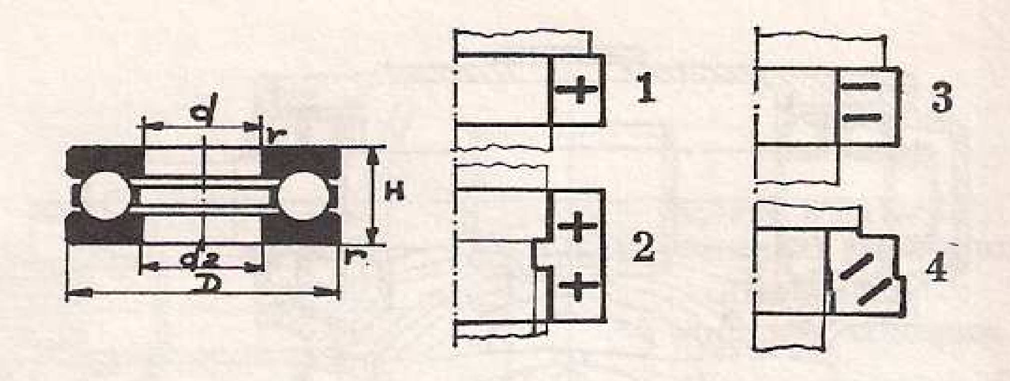


VIS SANS FIN DE RÉDUCTEUR
Roulements à rouleaux coniques
roulement à rouleaux cylindriques
(Documentation SKF)

ROULEMENTS A ROTULES
SUR DEUX RANGÉES DE ROULEAUX

d (1)	SÉRIE 03			SÉRIE 23			SÉRIE 32		
	D	B	r	D	B	r	D	B	r
20	52	15	2						
25	62	17	2						
30	72	19	2						
35	80	21	2,5						
40	90	23	2,5	90	33	2,5	160	52,4	3
45	100	25	2,5	100	36	2,5	180	60,3	3,5
50	110	27	3	110	40	3	200	69,8	3,5
55	120	29	3	120	43	3	215	76	3,5
60	130	31	3,5	130	46	3,5	230	80	4
65	140	33	3,5	140	48	3,5	250	88	4
70	150	35	3,5	150	51	3,5	270	96	4
75	160	37	3,5	160	55	3,5	290	104	4
80	170	39	3,5	170	58	3,5	310	110	5
85	180	41	4	180	60	4	320	112	5
90	190	43	4	190	64	4	340	120	5
95	200	45	4	200	67	4	360	128	5
100	215	47	4	215	73	4			
110	240	50	4	240	80	4	440	160	5
120				260	86	4	480	174	6
130				280	93	5	500	176	6
140				300	102	5	540	192	6

(1) ***d*** : à alésage cylindrique;
d : petit diamètre à alésage conique, conicité 1/12.



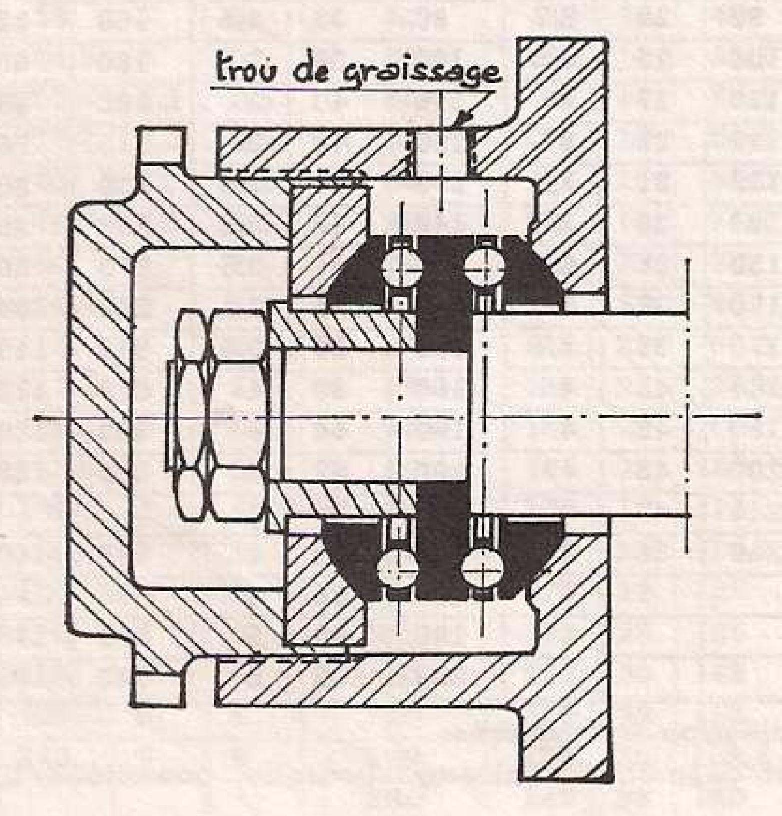
BUTÉES

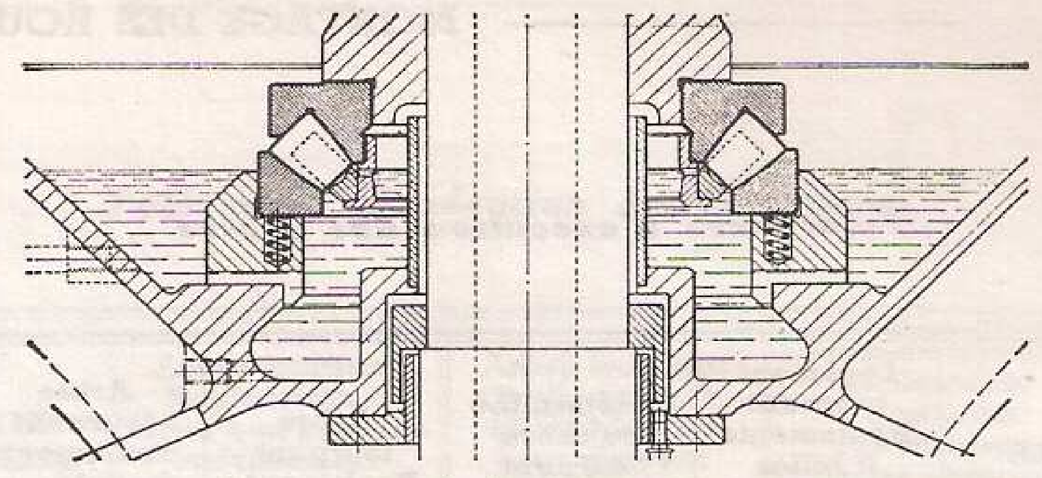
1. Butées à billes à simple effet.
2. Butées à billes à double effet.

Butées à rouleaux à simple effet :

3. — simples.
4. — à rotule.

EXEMPLE DE MONTAGE





PALIER DE GÉNÉRATRICE VERTICALE
Butée à rotule sur rouleaux
(Documentation SKF)

BUTÉES A BILLES
A SIMPLE EFFET A RONDELLES PLATES

d (1)	SÉRIE 11			SÉRIE 12			SÉRIE 13		
	D	H	r	D	H	r	D	H	r
10	24	9	0,5	26	11	1			
12	26	9	0,5	28	11	1			
15	28	9	0,5	32	12	1			
17	30	9	0,5	35	12	1			
20	35	10	0,5	40	14	1			
25	42	11	1	47	15	1	52	18	1,5
30	47	11	1	53	16	1	60	21	1,5
35	53	12	1	62	18	1,5	68	24	1,5
40	60	13	1	68	19	1,5	78	26	1,5
45	65	14	1	73	20	1,5	85	28	1,5
50	70	14	1	78	22	1,5	95	31	2
55	78	16	1	90	25	1,5	105	35	2
60	85	17	1,5	95	26	1,5	110	35	2
65	90	18	1,5	100	27	1,5	115	36	2
70	95	18	1,5	105	27	1,5	125	40	2
75	100	19	1,5	110	27	1,5	135	44	2,5
80	105	19	1,5	115	28	1,5	140	44	2,5
85	110	19	1,5	125	31	1,5	150	49	2,5
90	120	22	1,5	135	35	2	155	50	2,5
100	135	25	1,5	150	38	2	170	55	2,5
110	145	25	1,5	160	38	2	190	63	3

(1) Pour d_2 minimum, ajouter 0,2 à d.

Tolérances d'exécution des arbres

DIAMÈTRES des arbres (mm)	Logement tournant Roulements à billes et à rouleaux côniques Montage glissant sur arbre		Indéterminé ou arbre tournant Roulements à billes Faibles charges		Arbre tournant Roulements à billes Charges modérées		Arbre tournant Roulements à rouleaux cylindriques et côniques à réglage par l'extérieur	
Exclus — Inclus	h 5		j 5		k 5		m 5	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.	max.	min.
10 à 18	+ 0	— 8	+ 5	— 3	+ 9	+ 1		
18 à 30	+ 0	— 9	+ 5	— 4	+ 11	+ 2	+ 17	+ 8
30 à 50	+ 0	— 11	+ 6	— 5	+ 13	+ 2	+ 20	+ 9
50 à 80	+ 0	— 13	+ 6	— 7	+ 15	+ 2	+ 24	+ 11
80 à 120	+ 0	— 15	+ 6	— 9	+ 18	+ 3	+ 28	+ 13
120 à 180	+ 0	— 18	+ 7	— 11	+ 21	+ 3	+ 33	+ 15

— Pour les tolérances k 5 et m 5, lors du montage, *chauffer les roulements* dans un bain d'huile à 70° dans le cas d'un arbre en acier dur, et dans tous les autres cas, si le montage est exécuté à une température inférieure à 15°.

— Le besoin d'avoir recours à des tolérances plus étroites ne se présente — quand il s'agit des dimensions principales — que dans quelques cas exceptionnels, étant donné que les tolérances ont été choisies de telle sorte que les roulements sont interchangeables, et appropriés aux montages les plus divers.

Tolérances d'exécution des logements

ALÉSAGES des logements (mm)	Arbre tournant Roulements à billes non bloqués latéralement Roulements à rouleaux coniques Réglage par bague extérieure		Arbre tournant Roulements à billes bloqués latéralement Roulements à rouleaux avec charges modérées		Logement tournant Roulements à rouleaux cylindriques Fortes charges Roulements à rouleaux coniques Réglage par bague intérieure	
Exclus — Inclus	H 6		J 6		M 6	
	max.	min.	max.	min.	max.	min.
10 à 18	+ 11	— 0	+ 6	— 5	— 4	— 15
18 à 30	+ 13	— 0	+ 8	— 5	— 4	— 17
30 à 50	+ 16	— 0	+ 10	— 6	— 4	— 20
50 à 80	+ 19	— 0	+ 13	— 6	— 5	— 24
80 à 120	+ 22	— 0	+ 16	— 6	— 6	— 28
120 à 180	+ 25	— 0	+ 18	— 7	— 8	— 33

— Lors du montage, il convient de veiller à ce que les bagues dont la section est relativement faible, *ne subissent aucune déformation* qui pourrait entraîner le coincement des billes ou des rouleaux.

— Les logements et les arbres doivent être exécutés parfaitement ronds et aux cotes exactes.

— Les tolérances s'entendent étalonnées à 20°.

— Les Entreprises utilisant des jauges étalonnées à 0° doivent tenir compte qu'une jauge de 100 mm, étalonnée à 0°, est 0,022 mm plus grande que la même étalonnée à 20°, et, par conséquent, pour l'exécution de leurs calibres, réduire de 0,022 toutes les cotes des tableaux de tolérances.

TABLEAU DES

GRANDEURS		C.G.S. (laboratoires)	M.T.S.
Unités fondamentales		C : centimètre G : gramme masse S : seconde (unité de temps)	M : unité de longueur T : tonne masse S : seconde (unité de temps)
Force		1 dyne = 1 gcm × 1 cm/s/s Mégadyne = 10^6 dynes	1 sthène = 1 tm × 1 m/s/s
Masse			
Travail		1 erg = 1 dyne × 1 cm	1 kilojoule = 1 sthène × 1 m
Puissance		1 erg seconde = 1 erg par seconde	1 kilowatt = 1 kilojoule par seconde
Pression		1 barye = 1 dyne/1 cm^2	1 pièze = 1 sthène/m^2
RELATIONS	**Force**	1 dyne = 10^8 sthènes = 1 kgf/98 × 10^3	1 sthène = 10 dynes = 10^2 kgf = 10^3 N
	Travail	1 erg = 10^{-10} kilojoule = 0,102 × 10^7 kg mètres = 10^{-7} joule	1 kilojoule = 10^{10} ergs = 102 kg mètres = 10^3 joules
	Puissance	1 erg/s = 10^{10} kilowatts = 0,102 × 10^{-7} kgm/s = 10^{-7} watt	1 kilowatt = 10^{10} ergs/s = 102 kgm/s = 10^3 watts
		1 cheval = 7,36 × 10^{-7} erg/s 1 erg/s = 1,36 × 10^{10} chevaux	1 cheval = 0,736 kilowatt 1 kilowatt = 1,36 cheval
	Pression	1 barye = 10^{-1} pièze = 0,102 × 10^{-1} kgf/m^2 = 10^{-1} pascal	1 pièze = 10^1 baryes = 102 kgf/m^2 = 10^3 pascals

S UNITÉS DE MESURE

M.K.S. (mécaniciens)	M.K.S.A. ou Giorgi	GRANDEURS
M : unité de longueur K : kilogramme force S : seconde (unité de temps)	M : unité de longueur K : kilogramme masse S : seconde (unité de temps) A : ampère.	**Unités fondamentales**
1 kgf = 1 unité de masse × 1 m/s/s ou 1 kgm × 9,81 m/s/s	1 newton = 1 kgm × 1 m/s/s	**Force**
1 unité de masse M.K.S. = 9,81 kgm		**Masse**
1 kg mètre = 1 kgf × 1 m	1 joule = 1 newton × 1 m	**Travail**
1 kgm seconde = 1 kgm par seconde	1 watt = 1 joule par seconde	**Puissance**
kgf/m²	1 pascal = 1 newton/m²	**Pression**
1 kgf = 981×10^{3} d = $0{,}981 \times 10^{3}$ sn = 9,81 N	1 newton = 10^{5} d = 10^{3} sn = 1 kgf/9,81 = 0,102 kgf	**Force**
1 kgm = $9{,}81 \times 10^{5}$ ergs = $9{,}81 \times 10^{3}$ kilojoules = 9,81 joules	1 joule = 10^{7} ergs = 10^{-3} kilojoule = 0,102 kg mètre	**Travail**
1 kgm/s = $9{,}81 \times 10^{5}$ ergs/s = $9{,}81 \times 10^{-3}$ kilowatt = 9,81 watts	1 watt = 10^{7} ergs/s = 10^{-3} kilowatt = 0,102 kgm/s	**Puissance**
1 cheval = 75 kgm/s 1 kgm/s = 0,133 cheval	1 cheval = 736 watts 1 watt = 0,00136 cheval	
1 kgf/m² = 98,1 baryes = $9{,}81 \times 10^{-3}$ pièze = 9,81 pascals	1 pascal = 10 baryes = 10^{-3} pièze = 0,102 kgf/m²	**Pression**

NOTES

TABLE DES MATIÈRES

INDEX ALPHABÉTIQUE

A

B

C

S

T

U

V

Clerc S.A. - 18200 Saint-Amand-Montrond - Tél. : 48-96-41-50
N° imprimeur : 4083 - Achevé d'imprimer en Avril 1989

Réalisé par : yassine talha

Filière : technicien spécialisé en méthode de fabrication mécanique

ISBN 2 7135 1025 2